中等职业学校教学用书（机电技术专业）

设备电气控制与维修

（第 2 版）

徐建俊　史宜巧　主编

俞　宁　主审

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

内 容 简 介

本书重点介绍了设备电气控制和维修的基本知识，并结合所讲内容安排了适量的实验和实训，使学生通过学习和锻炼，具备高素质劳动者和初中级专门人才所必需的设备电气控制与维修的基本知识和基本技能，提高全面素质，增强适应职业变化的能力。

全书主要内容包括：设备电气控制与维修的基本概念和基本分析方法；常用低压电器的原理、结构及其选用、调整和故障维修方法；电气电路和电气设备的工作原理、结构及常见故障检修；可编程序控制器的结构、特性和应用；电气 CAD 软件及应用等知识。

本书可作为中等职业学校机电一体化、机电设备安装与维修等专业的专业课教材，也可供相关技术人员参考。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

设备电气控制与维修/徐建俊，史宜巧主编．—2 版．—北京：电子工业出版社，2007.5
中等职业学校教学用书（机电技术专业）
ISBN 978-7-121-04239-3

Ⅰ. 设…　Ⅱ.①徐…②史…　Ⅲ. ①机械设备—电气控制—专业学校—教材②机械维修—专业学校—教材
Ⅳ. TB4

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2007）第 055132 号

策划编辑：白　楠
责任编辑：杨宏利　　特约编辑：陈　虹
印　　刷：
装　　订：
出版发行：电子工业出版社
　　　　　北京市海淀区万寿路 173 信箱　邮编　100036
开　　本：787×1 092　1/16　印张：17.5　字数：448 千字
印　　次：2007 年 5 月第 1 次印刷
印　　数：0 000 册　　定价：23.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

中等职业学校教材工作领导小组

组　　长：陈贤忠　安徽省教育厅厅长

副 组 长：辛宝忠　黑龙江省教育厅副厅长

李雅玲　信息产业部人事司技术干部处处长

尚志平　山东省教学研究室副主任

眭　平　江苏省教育厅职社处副处长

苏渭昌　教育部职业技术教育中心研究所主任

王传臣　电子工业出版社副社长

组　　员（排名不分先后）：

唐国庆　湖南省教科院

张志强　黑龙江省教育厅职成教处

李　刚　天津市教委职成教处

王润拽　内蒙古自治区教育厅职成教处

常晓宝　山西省教育厅职成教处

刘　晶　河北省教育厅职成教处

王学进　河南省职业技术教育教学研究室

刘宏恩　陕西省教育厅职成教处

吴　蕊　四川省教育厅职成教处

左其琨　安徽省教育厅职成教处

陈观诚　福建省职业技术教育中心

邓　弘　江西省教育厅职成教处

姜昭慧　湖北省职业技术教育研究中心

李栋学　广西壮族自治区教育厅职成教处

杜德昌　山东省教学研究室职教室

谢宝善　辽宁省基础教育教研培训中心职教部

安尼瓦尔·吾斯曼　新疆维吾尔自治区教育厅职成教处

秘 书 长：李　影　电子工业出版社

副秘书长：蔡　葵　电子工业出版社

前　　言

本课程是中等职业学校机电一体化、机电设备安装与维修等专业的一门专业课程。

全书共分 8 章，主要学习设备电气控制的基本知识、三相异步电动机的电力拖动、电气控制基本环节电路、常用机床的电气控制系统、桥式起重机的电气控制系统、电梯的电气控制、电气 CAD 软件及可编程序控制器等基本内容。在编写过程中，作者注意做到：① 简化纯理论性的原理叙述和公式推导；② 加强新技术、新工艺、新方法、新知识的介绍；③ 加强学习分析问题、解决问题的方法；④ 采用模块结构，包括理论知识基本模块、选用模块（打*号的内容）和实践教学模块，各校可根据需要灵活选用；⑤ 注重实践应用能力的培养，每章后均附有练习题、实验和技能训练内容，其中技能训练的内容既可分开开设，也可集中进行，以培养学生的职业技能，增强学生择业、就业和适应职业变化的能力。

本书在使用过程中，建议课堂教学应多采用教具、模型、实物、现代教育技术和手段，注意理论联系实际。在考核方法上，注重过程考核，同时建议通过课堂提问、作业、实验、实训及考试等情况对学生进行综合评价。

淮安信息职业技术学院的徐建俊编写本书的第 1，2，6 章，史宜巧编写第 3，4，5，7 章，于建明编写第 8 章。全书由徐建俊、史宜巧主编，俞宁主审。

由于水平有限，疏漏之处在所难免，欢迎读者批评指正。

为了方便教师教学，本书还配有教学指南、电子教案及习题答案（电子版），请有此需要的教师登录华信教育资源网（www.huaxin.edu.cn 或 www.hxedu.com.cn）免费注册后进行下载，有问题请在网站留言板留言或与电子工业出版社联系（E-mail:hxedu@phei.com.cn）。

编　者

2007 年 4 月

目　录

第 1 章　设备电气控制的基本知识……1
1.1　电工基本知识……1
1.1.1　常用电工工具简介……1
1.1.2　电工基本操作……4
1.1.3　常用电工仪表……10
1.2　低压电器……13
1.2.1　低压电器基础知识……13
1.2.2　开关类电器及主令电器……17
1.2.3　接触器……26
1.2.4　继电器……30
1.2.5　熔断器……36
1.2.6　常用电子电器……39
1.2.7　电磁执行机构……40
1.2.8　常用启动器……43
1.3　电器元件故障诊断与维修……43
1.3.1　电磁式电器共性故障诊断与维修……43
1.3.2　常用电器故障诊断与维修……45
思考与练习……52
技能训练 1.1　常用电工工具的识别和使用……53
技能训练 1.2　常用导线的连接……53
技能训练 1.3　常用电工仪表的使用……54
技能训练 1.4　电阻的测量……56
技能训练 1.5　摇表、钳形电流表的使用……57
技能训练 1.6　常用开关类电器的拆装技能训练……58
技能训练 1.7　交流接触器的拆卸与组装技能训练……59
技能训练 1.8　热继电器与时间继电器的拆卸技能训练……59
第 2 章　三相异步电动机及其 电力拖动……61
2.1　三相异步电动机简介……61
2.1.1　三相异步电动机的结构……61
2.1.2　三相异步电动机的基本工作原理……63
2.2　三相异步电动机的机械特性……65

2.2.1 机械特性方程 …… 65
2.2.2 固有机械特性 …… 65
2.2.3 人为机械特性 …… 67
2.3 生产机械的负载特性 …… 68
2.3.1 恒转矩负载 …… 68
2.3.2 恒功率负载 …… 68
2.3.3 通风机型负载 …… 69
2.4 三相异步电动机的启动 …… 69
2.4.1 直接启动 …… 69
2.4.2 鼠笼型异步电动机的降压启动 …… 70
2.4.3 绕线式异步电动机的启动 …… 74
2.5 三相异步电动机的调速 …… 75
2.5.1 变极调速 …… 76
2.5.2 变频调速 …… 77
2.5.3 改变定子电压调速 …… 77
2.5.4 转子串电阻调速 …… 77
2.5.5 串级调速 …… 79
2.6 三相异步电动机的反转与制动 …… 80
2.6.1 三相异步电动机的反转 …… 80
2.6.2 三相异步电动机的制动 …… 80
2.6.3 三相异步电动机运行状态小结 …… 85
2.7 三相异步电动机故障分析及维护 …… 86
2.7.1 启动前的准备 …… 86
2.7.2 启动时的注意事项 …… 86
2.7.3 运行中的监视 …… 86
2.7.4 电动机的定期维修 …… 87
2.7.5 常见故障及排除方法 …… 88
2.8 三相异步电动机的拆装 …… 89
2.8.1 异步电动机的拆卸 …… 89
2.8.2 电动机的装配 …… 90
2.8.3 装配后的检查 …… 94
2.8.4 三相异步电动机定子绕组首、尾端的判别 …… 94
思考与练习 …… 97
技能训练 2.1 三相鼠笼式异步电动机拆装技能训练 …… 98
技能训练 2.2 三相异步电动机绕组首尾端判别技能训练 …… 101
第 3 章 电气控制线路的基本环节 …… 102
3.1 电气原理图 …… 102
3.1.1 绘制电气原理图的原则 …… 103
3.1.2 关于电气原理图图区划分和触点位置的索引 …… 104
3.1.3 分析电气原理图的基本方法 …… 105

3.2　三相笼型异步电动机的全压启动控制……105
3.2.1　三相笼型异步电动机的直接启动……106
3.2.2　三相笼型异步电动机的降压启动控制……109
3.3　绕线型异步电动机的启动控制……113
3.3.1　转子绕组串电阻启动控制电路……113
3.3.2　转子绕组串频敏变阻器启动控制电路……114
3.4　三相异步电动机的制动控制……116
3.4.1　反接制动控制电路……116
3.4.2　能耗制动控制电路……118
3.5　三相异步电动机的转速控制……120
3.6　其他典型环节的控制……121
3.6.1　顺序控制电路……121
3.6.2　多地控制电路……124
3.7　电动机的保护控制……125
3.7.1　短路保护……125
3.7.2　过载保护……125
3.7.3　过电流保护……125
3.7.4　欠压保护……126
3.7.5　零压保护（失压保护）……126
3.7.6　过电压保护……127
3.7.7　弱磁保护……127
3.7.8　其他保护……127
3.8　电控线路故障诊断与维修……127
3.8.1　电气设备的维护和保养……127
3.8.2　电控线路的故障检修……128
思考与练习……134
实验 3.1　自耦变压器降压启动控制……135
实验 3.2　三相异步电动机的反接制动控制……136
技能训练 3.1　用按钮和接触器控制的电动机单向运行电路的安装……137
技能训练 3.2　电动机可逆运行控制电路的安装……138
技能训练 3.3　笼型异步电动机 Y—△启动电路的安装……139
第 4 章　常用机床的电气控制……141
4.1　车床的电气控制……141
4.1.1　普通车床的主要结构及运动形式……141
4.1.2　C620–1 型普通车床的电气控制……142
4.1.3　C650–2 型普通车床的电气控制……144
4.2　磨床的电气控制……146
4.2.1　平面磨床的主要结构及运动形式……146
4.2.2　M7130 平面磨床的电气控制……147

4.3 摇臂钻床的电气控制 149
4.3.1 摇臂钻床的主要结构及运动形式 150
4.3.2 Z35 摇臂钻床的电气控制 151
4.3.3 Z3040 摇臂钻床的电气控制 154
4.4 铣床的电气控制 157
4.4.1 卧式万能铣床的主要结构及运动形式 157
4.4.2 X62W 型卧式万能铣床的电气控制 158
4.5 组合机床简介 163
4.5.1 组合机床的组成结构 163
4.5.2 组合机床的工作特点 164
4.5.3 组合机床控制电路的基本控制环节 164
思考与练习 168
技能训练 4.1 铣床的电气控制和故障检修 168
第 5 章 桥式起重机的电气控制 170
5.1 桥式起重机概述 170
5.1.1 桥式起重机的结构及运动形式 170
5.1.2 桥式起重机的主要技术参数 171
5.1.3 桥式起重机对电力拖动的要求 171
5.1.4 桥式起重机的供电特点 172
5.2 桥式起重机的电器设备及控制保护装置 173
5.2.1 凸轮控制器及其控制线路 173
5.2.2 主令控制器及其控制线路 175
5.2.3 制动器与制动电磁铁 177
5.2.4 电气保护设备 178
5.3 桥式起重机控制电路分析 178
5.3.1 主接触器的控制 180
5.3.2 凸轮控制器的控制 180
5.3.3 主令控制器的控制 181
5.3.4 电气线路常见故障分析 184
思考与练习 185
技能训练 5.1 凸轮控制器控制系统调试 185
技能训练 5.2 低压电器控制设计 186
第 6 章 电梯的电气控制 188
6.1 电梯概述 188
6.1.1 电梯的基本结构 188
6.1.2 电梯的分类 190
6.2 交流双速电梯 192
6.2.1 交流双速电梯的特点 192
6.2.2 主电路分析 192

6.2.3　控制电路的分析 ··· 193
6.2.4　电气安全保护系统 ··· 203
6.3　电梯电气部分常见故障的分析与排除 ··· 204
6.3.1　电气系统的常见故障及其原因分析 ··· 204
6.3.2　电气系统的常见故障及一般的排除方法 ··· 206
思考与练习 ··· 209
第 7 章　可编程序控制器 ··· 210
7.1　PLC 的组成及工作原理 ··· 210
7.1.1　PLC 的组成 ··· 210
7.1.2　PLC 的工作过程 ··· 211
7.2　PLC 的分类及特点 ··· 212
7.2.1　PLC 的分类 ··· 212
7.2.2　PLC 的特点 ··· 213
7.3　三菱 FX_{2N} 系列 PLC 简介 ··· 215
7.3.1　FX_{2N} 系列 PLC 的基本组成 ··· 215
7.3.2　指令系统及编程 ··· 217
*7.4　PLC 的程序设计 ··· 223
7.4.1　梯形图的设计规则 ··· 223
7.4.2　梯形图设计举例 ··· 223
*7.5　可编程序控制器的应用 ··· 228
7.5.1　PLC　应用系统的设计 ··· 228
7.5.2　PLC 控制系统的安装 ··· 228
7.5.3　PLC 应用中的其他问题 ··· 229
思考与练习 ··· 231
实验 7.1　可编程序控制器的认识实验 ··· 232
技能训练 7.1　可编程序控制器的应用 ··· 234
*技能训练 7.2　电梯的控制设计 ··· 234
第 8 章　电气 CAD 软件及其应用 ··· 236
8.1　PCschematic ELautomation 软件入门 ··· 236
8.1.1　软件特点 ··· 236
8.1.2　PCschematic ELautomation 的安装、启动和菜单介绍 ··· 238
8.1.3　软件界面介绍 ··· 239
8.1.4　屏幕/图像功能 ··· 241
8.2　基本绘图功能 ··· 243
8.2.1　基本绘图对象 ··· 243
8.2.2　线 ··· 244
8.2.3　圆弧/圆 ··· 246
8.2.4　文本 ··· 246
8.2.5　符号 ··· 248

8.2.6 区域 250
8.3 导线编号及元件布置 251
8.3.1 自动为导线编号 251
8.3.2 手动布置线号 253
8.3.3 元件布置 254
8.4 数据库使用及设置 255
8.4.1 使用数据库 255
8.4.2 数据库设置 256
8.4.3 选择数据库 258
8.5 自动化方案范例 259
8.5.1 建立一个标准的自动化方案图纸 259
8.5.2 绘制主电路和控制电路 261
8.5.3 自动生成布置图 263
8.5.4 各种清单的生成 265
思考与练习 266
技能训练 8.1 电气 CAD 软件的应用 266
参考文献 267

第 1 章　设备电气控制的基本知识

学习目标

◆　知识目标　了解常用电工工具、仪表及低压电器的选择和使用，掌握电动机综合保护方法和电气故障检修方法。

◆　能力目标　能正确使用电工工具和常用仪表；能借助手册、设备铭牌等资料查阅低压电器及产品的有关数据、功能和使用方法；能进行常见故障的维修；能看懂电气控制原理图和接线图。

重点和难点

◆　重点　电工工具和仪表的应用，低压电器的选择和维修，电动机综合保护方法和维护。

◆　难点　接触器、继电器常见故障维修，电动机综合保护电路的维护。

1.1　电工基本知识

1.1.1　常用电工工具简介

电工工具品种繁多，会正确选择和使用电工工具，既能提高工作效率和施工质量，又能减轻劳动强度、保证操作安全和延长工具的使用寿命。常用电工工具包括通用工具、线路安装工具和设备装修工具，本节主要介绍跟设备电气控制有关的常用电工工具。

1．低压测电笔

低压测电笔简称电笔，又称验电器，是用来测试导线、开关、插座等电器及电气装置是否带电的工具。常用测电笔有钢笔式和螺丝刀式两种，如图 1.1 所示。它一般由氖泡、电阻、弹簧、笔身组成，其测电范围为 60V～500V。

低压测电笔使用方法如图 1.2 所示：以手指握住笔身，以食指触及尾部的金属体（或钢笔式的笔套）；然后用笔前端的金属体去接触已明确有电的测试点；证明氖泡能发光后，再去接触被测点，看是否发光，若不发光，则说明测试点不带电。

测电笔使用时要注意：在光线很亮的地方测试时，需用手遮挡光线，以便看清氖泡是否发光；握测电笔的手，千万不可触及测电的金属体；螺丝刀式测电笔应套上塑料套管，仅露出头部以便测量，以防发生触电或短路事故。



图 1.1　低压测电笔

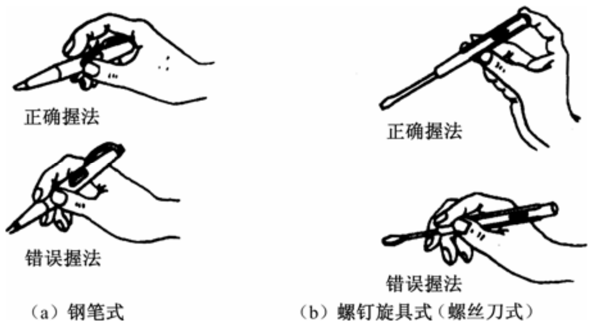


图 1.2　低压测电笔握法

2．螺钉旋具

螺钉旋具俗称螺丝刀，又称起子、改锥等，是一种紧固或拆卸螺钉的工具。它有一字和十字两种刀头，分别用于旋紧或起松一字或十字螺丝。根据螺丝刀的全长，又分为 95mm，110mm，115mm，125mm，135mm，160mm，185mm，195mm，220mm，270mm，280mm，330mm，380mm 等若干规格。电工多采用绝缘性能较好的塑料柄螺丝刀。现在还有一种组合式的螺丝刀，其握柄和刀体是可拆卸的。

螺丝刀的使用方法如图 1.3 所示。小型号的螺丝刀，可用大拇指和中指夹着握柄，以食指顶住柄的末端捻旋；较大型号的螺丝刀，除大小拇指、食指和中指要夹着握柄外，手掌还要顶住末端，以防旋转时滑脱。

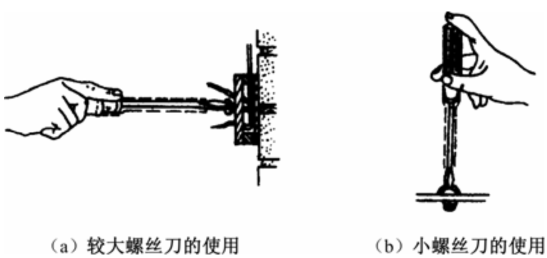


图 1.3　螺丝刀的使用

螺丝刀使用时要注意安全，以防造成触电事故。

3．钢丝钳

钢丝钳俗称老虎钳，是一种钳夹和剪切电工器材的常用工具，它由钳头和钳柄组成，钳头又由钳口、齿口、刀口和铡口组成。钳口用来弯绞或夹导线；齿口用来旋紧或起松螺母，也可用来绞紧或放松导线接头；刀口用来剪切导线或拔起铁钉；铡口用来铡切钢丝、铁丝等

较硬的金属材料。根据长度，它又分为 150mm，175mm，200mm 等规格。电工常用的钳柄带橡胶绝缘套管，绝缘柄工作电压为 500V，其试验电压为 10 000V。

钢丝钳使用方法如图 1.4 所示。使用时要注意不得用刀口同时剪切相线和零线，或同时剪切两根相线，以免发生短路故障；钳头不可代替手锤作为敲打工具使用。

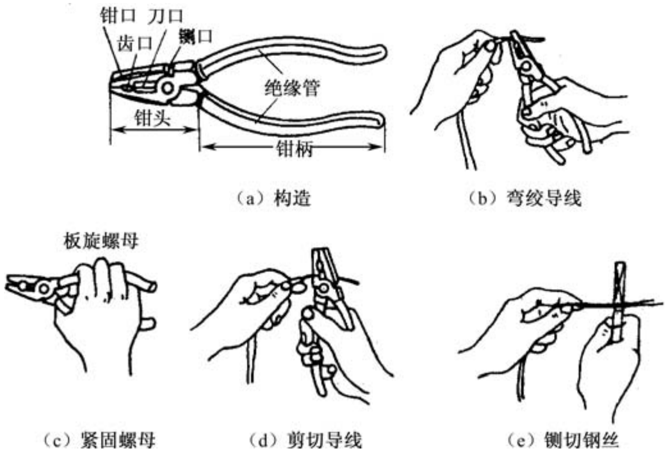


图 1.4　钢丝钳的构造和使用方法

4．尖嘴钳

尖嘴钳与钢丝钳构造相似，由于尖嘴钳的钳头部分细长，因此能在较狭小的地方工作，如灯座、开关内的线头、螺钉的固定等。尖嘴钳只能剪切、切断较细的导线及金属材料。

5．活扳手

活扳手又叫活络扳手，是用来旋紧或起松六角、四角螺母、螺栓的专用工具。它由头部和柄部组成，头部由活络扳唇、扳口、蜗轮和轴销等构成，旋动蜗轮可调节扳口的大小。其规格以长度×最大开口宽度（mm）表示，有 150×19（6），200×24（8），250×30（10）和 300×36（12）四种。

活扳手使用方法如图 1.5 所示。使用时注意：扳动大螺母时，需要力矩较大，手应握在近柄尾处；扳动较小螺母时易打滑，手应握在接近头部的地方，随时调节蜗轮，收紧活络扳唇防止打滑。

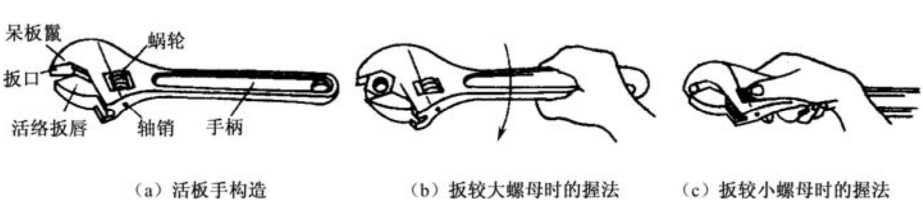


图 1.5　活扳手构造及使用方法

6．电工刀

电工刀主要用来剖削或切割电工器材，如剖削电线电缆绝缘层，切割木台缺口，削制木桩及软金属等。电工刀有大号、小号两种，刀片长度分别为 112mm 和 88mm。

电工刀使用方法：使用时刀口应朝外进行操作；在剖削导线时，应将刀面与导线成较小锐角，以免割伤导线；用毕应及时把刀身折入刀柄中。电工刀因无绝缘保护，不能在带电导线或器材上剖削，以防触电。

除了上述通用工具外，还有一些常用的辅助工具。

7．钢锯

钢锯主要用来锯割金属材料，也可用来锯割电缆、塑料及铠装电缆的外包皮等，由锯架和锯条组成。一般手锯钢锯条的长度为 300mm，厚度为 0.64mm，阔度为 12mm 和 13mm 两种，齿距有 0.8mm，1mm，1.1mm，1.4mm，1.8mm 等几种。

8．钢凿

小钢凿专门用来打砖墙上的木砧孔，钢凿的宽度一般为12mm 左右；长钢凿是用来打墙孔的工具，长度在 300mm～500mm。

9．电钻

现在常用的是冲击钻，它既可使用普通麻花钻头在金属材料上钻孔，也可使用冲击钻头在砖墙、混凝土等处钻孔，供膨胀螺栓使用，是电工必配的辅助工具。

10．电烙铁

电烙铁是锡焊的专用工具，主要用来焊接铜导线、铜接头或轴连接件的镀锡等。电烙铁的功率有 15W，20W，30W，45W，75W，100W，300W 等。功率越大，烙铁头也越大，能焊接的物体也就越大，所以在使用时应根据焊接物体的大小来选择合适的电烙铁。电工常用的电烙铁功率为 30W～75W。

1.1.2 电工基本操作

在电气安装和线路维修中，经常需要对导线进行各种处理，如导线连接、导线穿墙等。本书重点介绍导线连接的有关操作技术。

1．导线绝缘层的处理

导线在连接前，要对导线的绝缘层进行处理，即进行绝缘层的剖削，把导线端头的绝缘层削掉，并将裸露的导体表面清洗干净。绝缘层剖削的长度一般为 50mm～150mm，截面小的剖短些，截面大的剖长些。剖削绝缘层时应尽量不损伤芯线，如损伤较大应重新剖削。

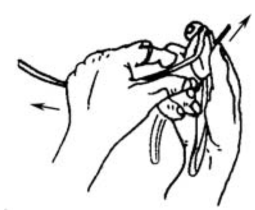


图 1.6 用钢丝钳剖削塑料硬线绝缘层

（1）塑料硬线绝缘层的剖削。芯线截面为 $4mm^2$ 及以下的塑料硬线，一般用钢丝钳来剖削绝缘层，方法步骤如下：

① 左手捏住电线，根据线头所需长短用钢丝钳口切割绝缘层，但不可切入芯线；

② 用右手握住钢丝钳头部用力向外勒去塑料绝缘层，如图 1.6 所示；

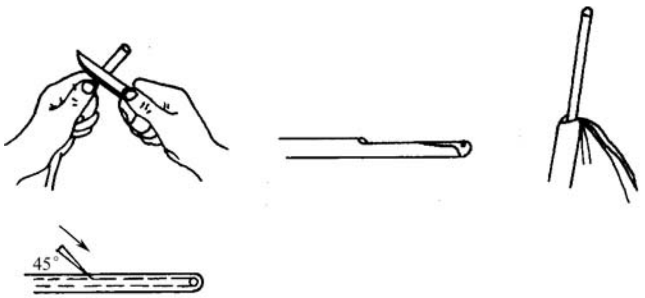
③ 剖削出的芯线应保持完整无损。

芯线截面大于 $4mm^2$ 的塑料硬线，用电工刀来剖削，方法如下：

① 根据所需长度用电工刀以 45° 角倾斜切入塑料绝缘层，如图 1.7（a）所示；

② 接着刀面与芯线保持 25° 角左右，用力向线端推削，不可切入芯线，削去上面一层塑料绝缘，如图 1.7（b）所示；

③ 将下面塑料绝缘层向后扳翻，如图 1.7（c）所示，最后用电工刀齐根切去。



（a）刀以45°角倾斜切入　（b）刀以25°角倾斜推削　（c）翻下塑料层

图 1.7　用电工刀剖削塑料硬线绝缘层

（2）塑料软线绝缘层剖削。塑料软线绝缘层只能用剥线钳或钢丝钳剖削，不可用电工刀剖削，其剖削方法同上。

（3）塑料护套线绝缘层的剖削。塑料护套线绝缘层必须用电工刀来剖削，方法如下：

① 按所需长度用电工刀刀尖对准芯线缝隙间划开护套层，如图 1.8（a）所示；

② 向后扳翻护套层，用刀齐根切去，如图 1.8（b）所示；



（a）刀在芯线缝隙间划开护套线　（b）扳翻护套层并齐根切去

图 1.8　塑料护套线绝缘层的剖削

③ 在距离护套层 5mm～10mm 处，用电工刀以 45° 角倾斜切入绝缘层，其他剖削方法同塑料硬线。

（4）橡皮线绝缘层的剖削。

① 把橡皮线的编织保护层用电工刀尖划开，与剖削护套线的护套层方法相同；

② 用剖削塑料线绝缘层相同的方法剖去橡皮层；

③ 松散棉纱层到根部，用电工刀切去。

（5）花线绝缘层的剖削。

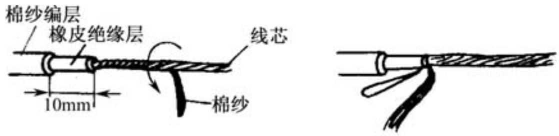
① 在所需长度处用电工刀在棉纱织物保护层四周割切一圈后拉去；

② 在距棉纱织物保护层 10mm 处，用钢丝钳口切割橡胶绝缘层，注意不能损伤芯线。然后右手握住钳头，左手用力抽拉花线，钳口勒出橡胶绝缘层，方法同图 1.6 所示；

③ 最后露出棉纱层，把棉纱层松散开，用电工刀割断，如图 1.9 所示。

（6）铅包线绝缘层的剖削。

① 用电工刀把铅包层割一刀，如图 1.10（a）所示；

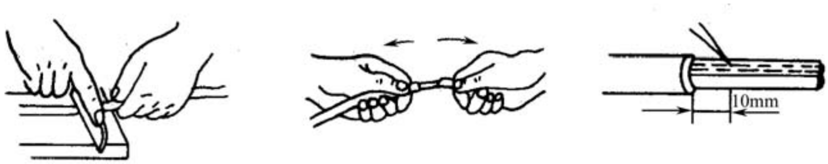


（a）将棉纱层散开　　（b）割断棉纱层

图 1.9　花线绝缘层的剖削

② 用双手来回扳动切口处，待铅层沿切口折断，就可把铅包层拉出来，如图 1.10（b）所示；

③ 绝缘层的剖削，按塑料线绝缘层的剖削方法进行，如图 1.10（c）所示。



（a）按所需长度切入　　（b）折扳切口并拉出铅包层　　（c）剖削绝缘层

图 1.10　铅包层的剖削

2．导线的连接

当导线不够长或要分接支路时，就要将导线与导线进行连接。

1）铜导线的连接。常用铜导线的线芯有单股、7 股和 19 股多种，连接方法随芯线的股数不同而不同。

（1）单股铜芯导线的连接。单股铜导线的连接有绞接和缠绕两种方法。绞接方法适合截面较小的导线，缠绕方法则适合截面较大导线的连接。

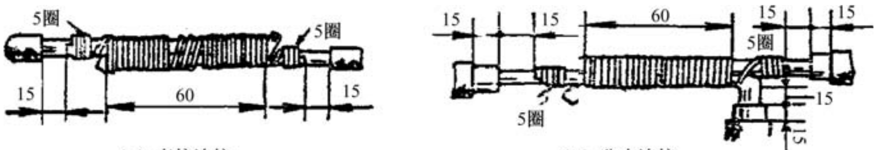
图 1.11（a）所示为直接绞接示意图。操作时先将导线互绕 3 圈，然后将两线端分别在另一导线上紧密绕 5 圈，使线端分别贴在导线上，割去多余的部分。图 1.11（b）所示为分支连接示意图，又称 T 字分支连接。操作时，使支线与干线十字相交，先用手将支线在干线上粗略绕 2 圈～3 圈，再用钳子紧密绕 5 圈，多余部分割去。



（a）直接绞接法　　（b）分支连接法

图 1.11　单股铜导线的绞接法

图 1.12 所示为缠绕连接示意图。直接连接时，先将两线端用钳子略加弯曲，使之并合，然后用直径约为 1.5mm 的裸铜线紧密地缠绕在两根导线的并合处。分支连接时，先将分支导线线端略加弯曲，使之与干线并合，其后与直接连接操作相同。并合处缠绕长度可视连接导线直径而定，通常直径在 5mm 以下取 60mm，在 5mm 以上取 90mm。



（a）直接连接　（b）分支连接

图 1.12　单股铜导线的缠绕法

（2）7 股铜导线的连接。

① 7 股铜导线的直接连接。

a）首先剖去导线的绝缘层，用砂纸将芯线表面擦净，把接近绝缘层 1/3 段的芯线绞紧，把余下的 2/3 段芯线分散成伞状，逐根拉直。再把两个伞状芯线线头隔根对叉，如图 1.13（a）所示。

b）将一端的 7 股线按 2 根，2 根，3 根分成三组，然后把张开的各线端合拢，紧贴于所连接的导线。接着扳起一组 2 根芯线，按顺时针方向缠绕于对叉连接处 2 圈～4 圈，余下的线向右扳直，如图 1.13（b）所示。

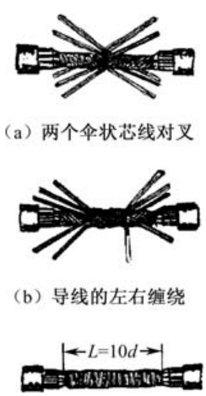
c）把下边第二组的 2 根芯线扳直，也按顺时针方向紧压着 2 根扳直的芯线向右缠绕 2 圈～4 圈，也将余下的线向右扳直理顺。

d）再把第三组的 3 根芯线扳直，也按顺时针方向紧压着前 4 根扳直的芯线向右缠绕 3 圈～5 圈后，切去每组多余的芯线，钳平线端即可，如图 1.13（c）所示。

② 7 股铜导线的 T 字分支连接。

a）把分支芯线散开钳直，接着把近绝缘层 1/8 的芯线绞紧，把支路线头 7/8 的芯线分成两组，一组 4 根，另一组 3 根，并排放齐，然后用旋凿把干线的芯线撬分为两组，再把支线中 4 根芯线的一组插入干线两组芯线中间，而把 3 根芯线的一组放在干线芯线的前面，如图 1.14（a）所示。

b）把支路 3 根芯线一组的在干线右侧按顺时针方向紧紧缠绕 3 圈～4 圈，钳平线端，如图 1.14（b）所示。

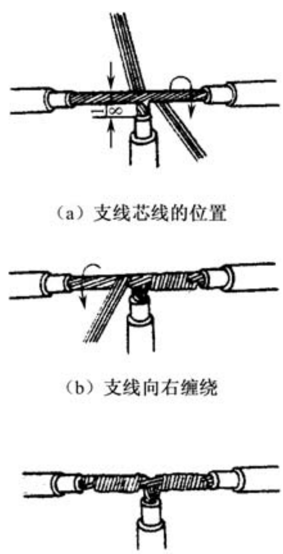


（a）两个伞状芯线对叉

（b）导线的左右缠绕

（c）绕好后的导线

图 1.13　7 股铜导线的直接连接



（a）支线芯线的位置

（b）支线向右缠绕

（c）支线向左缠绕

图 1.14　7 股铜芯线的 T 字分支连接

c）再把支路 4 根芯线的一组按逆时针方向缠绕 4 圈或 5 圈后，钳平线端，如图 1.14（c）所示。

（3）19 股铜导线的连接。19 股铜芯导线的直接连接方法与 7 股铜芯线的基本相同。芯线太多可剪去中间的几根。连接后，在连接处还需进行锡焊，以增加其机械强度和改善导线性能。它的 T 字分支连接与 7 股芯线也基本相同，只是将支路导线的芯线分为 9 根和 10 根，并将芯线插入干线芯线中，各分两次向左右缠绕。

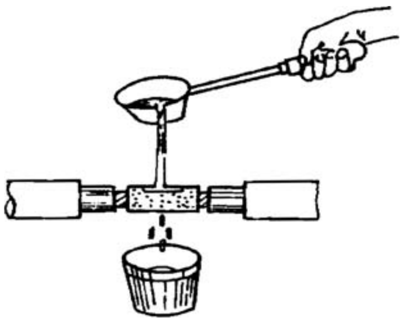


图 1.15　铜芯导线接头浇焊法

4）铜芯导线接头处的锡焊。铜芯导线的锡焊方法主要有电烙铁锡焊和浇焊。

电烙铁锡焊：一般 $10mm^2$ 及以下的铜芯导线接头，可用 150W 电烙铁进行锡焊。锡焊前，接头上均须涂一层无酸焊锡膏，待电烙铁烧热后，即可锡焊。

浇焊：$16mm^2$ 及以上的铜芯导线接头，应用浇焊法。浇焊时，应先将焊锡放在化锡锅内，用喷灯或电炉熔化，使表面呈磷黄色，焊锡即达到高热。然后将导线接头放在锡锅上，用勺盛上熔化的锡，从接头上浇下，如图 1.15 所示。刚开始时，因为接头较冷，锡在接头上不会有很好的流动性，应该继续浇下去，使接头处温度提高，直到全部焊牢为止。最后用抹布轻轻擦去焊渣，使接头表面光滑。

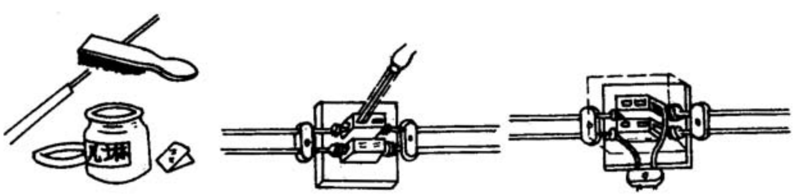
2）铝芯导线的连接。由于铝极易氧化，且铝氧化膜的电阻率很高，所以铝芯导线不宜采用铜芯导线的方法进行连接，铝芯导线常采用螺钉压接法和压接管压接法连接。

（1）螺钉压接法连接。这种方法使用瓷接头（又称接线桥）上接线桩的螺钉来实现铝导线的连接。该方法适用于负荷较小的单股铝导线的连接，优点是简单易行。其操作步骤如下：

① 把削去绝缘层的铝芯线头用钢丝刷刷去表面的铝氧化膜，并涂上中性凡士林，如图 1.16（a）所示；

② 直接连接时，先把每根铝芯导线在接近线端处卷上 2 圈～3 圈，以备线头断裂后再次连接用，然后把 4 个线头两两相对地插入两只瓷接头的 4 个接线桩上，旋紧螺钉，如图 1.16（b）所示；

③ 若分支连接，则要把支路导线的两个芯线头分别插入两个瓷接头的两个接线桩上，然后旋紧螺钉，如图 1.16（c）所示；



（a）刷去氧化膜涂上凡士林　（b）在瓷接头上做直线连接　（c）在瓷接头上做分路连接

图 1.16　单股铝导线的螺钉压接法

④ 在瓷接头上加罩铁皮盒盖或木罩盒盖。

如果连接处在插座或熔断器附近，则不必用瓷接头，可用插座或熔断器上的接线桩进行

过渡连接。

（2）压线管压接法连接。这是利用铝压接管（又称铝套管），使用压接钳实现铝导线的连接。该方法适用于较大负荷多根铝芯导线的连接，如图 1.17 所示。

① 根据铝线规格选择适当的铝压接管，剥去导线两端的绝缘约 55mm；

② 用电工刀或钢丝刷清除铝芯导线表面和压接管内壁的铝氧化层，涂上一层中性凡士林；

③ 把两根铝芯导线线端相对穿入压接管，并使线端穿出压接管 25mm～30mm；

④ 进行压接。压接时，第一道坑应压在铝芯线端一侧，不可压反，压接坑的距离和数量应符合技术要求。

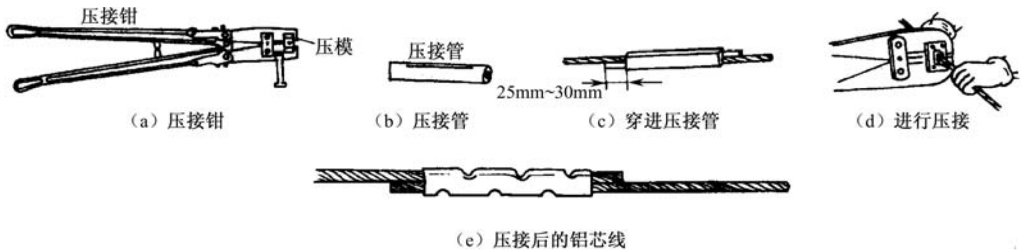


图 1.17　压接法所用工具及方法

3）线头与接线桩的连接。在各种用电器或电气装置上，均有接线桩供连接导线用。常用接线桩有针孔式和螺钉平压式两种。

在针孔式接线桩上接线时，如果单股芯线与接线桩头插线孔大小适宜，只要把芯线插入针孔，旋紧螺钉即可；如果单股芯线较细，则要把芯线折成双根，再插入针孔，如图 1.18（a）所示；如果是多根细丝的软线芯线，必须先绞紧，然后再插入针孔。切不可让细丝露在外面，以免发生短路事故。

在螺钉平压式接线桩头上接线时，如果是较小截面单股芯线，则必须把线头变成羊眼圈，羊眼圈弯曲的方向应与螺钉拧紧的方向一致，如图 1.18（b）所示。较大截面单股芯线与螺钉平压式接线桩头连接时，线头必须装上接线耳，由接线耳与接线桩连接。

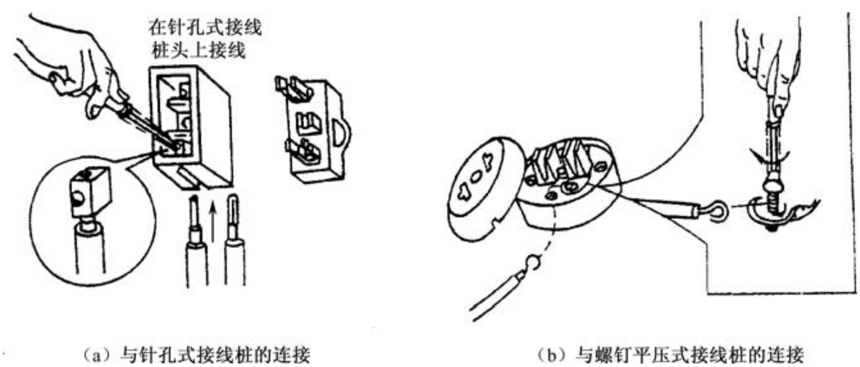


图 1.18　线头与接线桩的连接

3．导线绝缘层的恢复

当导线的绝缘层遭到破坏或导线连接后，都必须恢复导线的绝缘，并且要求恢复后的绝

缘强度不应低于原有绝缘层。恢复绝缘的材料通常用黄蜡带、涤纶薄膜带和黑胶带等，黄蜡带和黑胶带一般选用 20mm 宽较适中，包缠也方便。

（1）绝缘带的包缠方法：将黄蜡带从导线左边完整的绝缘层上开始包缠，包缠两根带宽后方可进入无绝缘的芯线部分，如图 1.19（a）所示。包缠时，黄蜡带与导线保持约 55°的倾斜角，每圈压叠带宽的 1/2，如图 1.19（b）所示。包缠一层黄蜡带后，将黑胶布接在黄蜡带的尾端，如图 1.19（c）所示。接着按另一斜叠方向包缠一层黑胶布，也要每圈压叠带宽的 1/2，如图 1.19（d）所示。

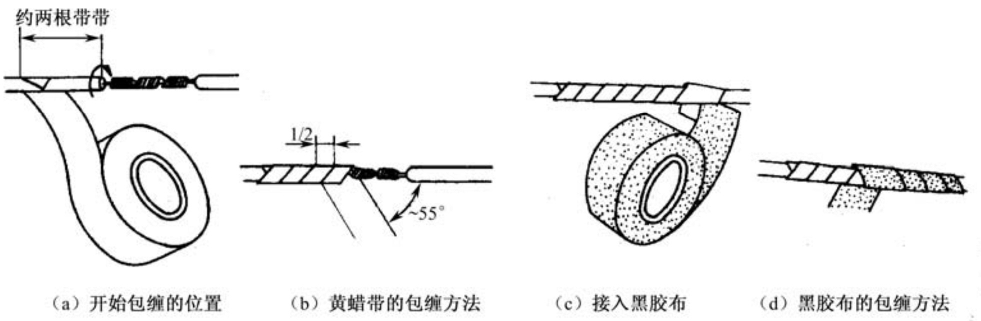


图 1.19　绝缘带的包缠

（2）注意事项：

① 用在 380V 线路上的导线恢复绝缘时，必须先包缠 1 层～2 层黄蜡带，然后再包缠一层黑胶带；

② 用在 220V 线路上的导线恢复绝缘时，先包一层黄蜡带，再包缠一层黑胶带；

③ 绝缘带包缠时，不能过疏，更不允许露出芯线，以免造成触电和短路事故；

④ 绝缘带不可放在温度很高的地方，也不可浸染油类。

1.1.3　常用电工仪表

电工仪表在日常工作中是必不可少的。按电表的结构形式和工作原理，可分为磁电式、电磁式、电动式、热电式、感应式、电子式等；按其测量对象的不同，又可分为电流表、电压表、电阻表（欧姆表）、功率表、功率因数表、频率表、电能表等。电表都有一定的准确度等级，它的大小与电表的测量误差有关，电表等级的数字越小，准确度越高。表 1.1 列出了电压表、电流表的基本误差与准确度等级的关系。

表 1.1　电压表、电流表的准确度等级及对应的基本误差

准确度等级	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3	5
基本误差（%）	±0.01	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±1.0	±1.5	±2.0	±2.5	±3	±5

一般来说，0.05 级～0.2 级作为标准表，来校验其他电表；0.3 级～1.5 级作为实验室实验用电表；0.2 级～0.5 级作为一般工程电表。

下面介绍几种常用电工仪表。

1．万用表

万用表是一种多用途的测试仪表，它的基本内容有交流电压、直流电压、直流电流、电阻等。现在的一些中、高挡万用表在此基础上又增加一些测试内容，主要有交流电流、电感、电容、晶体管主要参数（主要是放大倍数）等。

万用表的使用方法：首先在使用前应先检查万用表表头上的指针是否指在零位上，如不在，可用螺丝刀调整表面上的零位调整器，将表头指针调至零位；然后将量程选择开关转动到相应的位置上再进行测量。

下面介绍几种常用参数的测量方法及注意事项。

（1）交流电压的测量。先将量程选择开关转动到交流电压最大挡上，如不合适，再逐渐减小至合适挡上；若已知被测电压值范围，可将量程开关直接转动到相应的挡上。然后将红、黑表笔分别接触被测电压的两极，观察表针的读数。注意，测电压值时表笔应并接在被测电路上，如图 1.20（a）所示。

（2）直流电压的测量。测试方法与交流电压测量类似，但量程选择开关应转到直流电压挡。测量时必须将红表笔接触正极，黑表笔接触负极。如测前不知道正、负极，可用表笔快速接触被测量的两极，若发现指针反转，则需将表笔对换后再进行测量。一般电压表的使用方法与此相同。

（3）交流电流、直流电流的测量。测试方法同交流电压、直流电压的测量，但测量电流时应将万用表串接于电路中，如图 1.20（b）所示。一般电流表的使用方法与此相同。

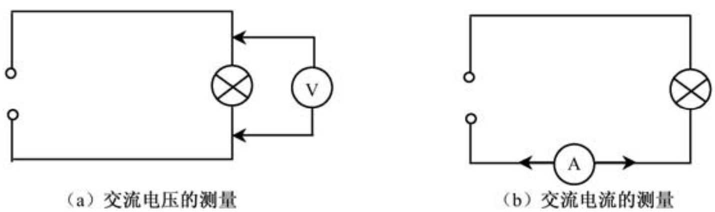


图 1.20　交流电压、交流电流的测量

（4）电阻的测量。测量前，应先将两支表笔头相碰，看指针是否在零欧姆位置，如不在，可调节“Ω”调零旋钮，使指针指零；然后估计被测电阻值的大小，决定量程的选择；若无法估测电阻值，则应先转到最大电阻挡，再逐渐调小至合适测量挡，以免因量程太小而打坏表头指针。确定量程后，将两表笔分别搭到被测电阻的两端，此时指针所指的读数再乘上量程开关的倍数即为被测电阻值。测量电阻时严禁带电操作。

当需要检查线路的通、断时，也可用测量电阻的方法来判别。先将量程开关转至较小电阻挡（×1Ω挡），若所测电阻读数为零或接近零，说明线路是通的；若读数为无穷大，则线路不通；若读数在两者之间，说明线路的接头或连接点接触不良或松动等。

（5）注意事项：在使用万用表时，还需注意测量电压时千万不能转到电流、电阻挡，否则会损坏万用表；读数时要注意看好所选的是哪一条标度尺，该标尺读数是否均匀；万用表使用后，应把量程开关转到空挡，没有空挡的可转到交流电压最高挡，以免下次使用时因误操作而损坏仪表。

2．钳形表（钳形电流表）

用万用表测交流电流时，需将电表串接在线路中，因此必须断开电路。钳形表是在不断开电路的情况下就能测量交流电流的专用仪表，它由一只电流互感器和一只安培表组合而成。测量范围大、使用方便，但准确度较低。其外形和使用方法如图 1.21 所示。

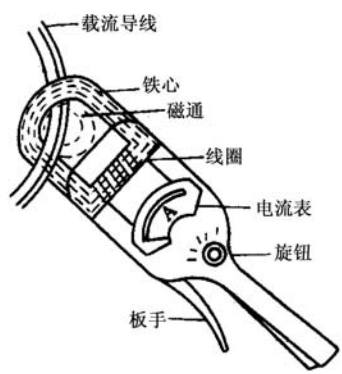


图 1.21 钳形电流表

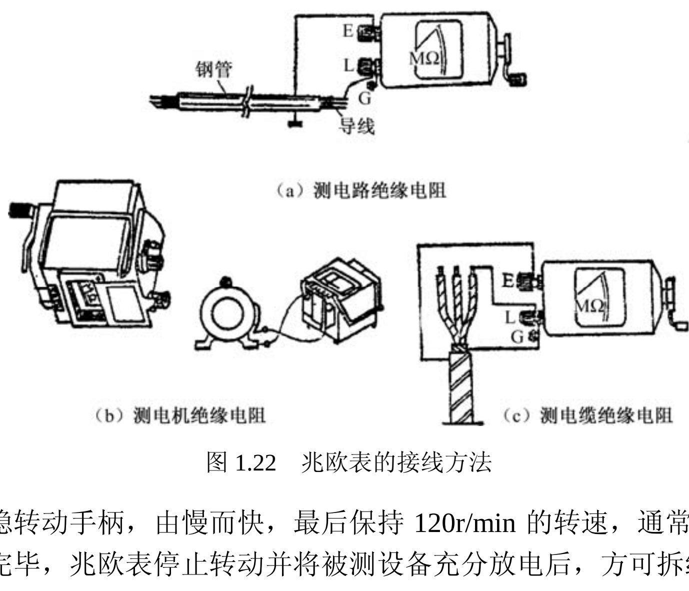
使用时应注意：选择合适的量程，如无法估计，可从最大量程逐步调至合适量程；测电流时，应把被测导线放在钳口的中心位置，钳口闭合应紧密，以保证测量的准确性；使用完毕，应将量程开关放在空挡或交流电流最大量程挡，以免下次使用时由于疏忽未改变量程而损坏仪表。

3．兆欧表

兆欧表因其测量需摇动手柄，所以又称摇表，主要用来测量电机、电器、电缆、线路等的绝缘电阻。它有 3 个接线端：L 为“线路”接线端，E 为“接地”接线端，G 为“保护环”接线端。

兆欧表测量前应进行一次开路和短路试验。未接被测电阻前，摇动手柄到额定转速，指针应在“∞”位置；然后将 L 端和 E 端短接，缓慢摇动手柄，指针应在“0”处。否则说明表有故障，需检修后才能使用。

兆欧表使用时，先将被测电阻两端分别与 L 端和 E 端相连，常用的几种测量接线方法如图 1.22 所示。图（a）测量的是电路绝缘电阻，E 端可接地，L 端接被测线路；图（b）测量的是电机的绝缘电阻，E 端接机壳，L 端接电机绕组；图（c）测量的是电缆绝缘电阻，E 端接导电线芯，L 端接电缆外壳，G 端与电缆壳与芯之间的绝缘层相接，保护环直接与发电机的负极相连，可消除因表面漏电而引起的测量误差。



（a）测电路绝缘电阻

（b）测电机绝缘电阻

（c）测电缆绝缘电阻

图 1.22 兆欧表的接线方法

线接好后平稳转动手柄，由慢而快，最后保持 120r/min 的转速，通常以 1min 后的指针读数为准。测试完毕，兆欧表停止转动并将被测设备充分放电后，方可拆线。

使用注意事项：应根据被测设备的电压等级来选用兆欧表，如果兆欧表电压过高，可能损坏被测设备；如果电压太低，测量数据又不够准确。测量用的连接导线应采用单根绝缘导

线，不能采用双绞线等。测量时摇动手柄如发现指针指“0”，则不能再摇动，以防烧坏表的绕组。

4．频率表

频率表是主要用来测量电路频率的仪表。它的使用方法与电压表相似，需并联接入电路。

1.2　低压电器

低压电器是指工作在直流 1 200V 或交流 1 500V 及以下的电路中，经实现对电路或非电对象的控制、检测、保护、变换和调节等作用的电器。采用电磁原理构成的低压电器，称为电磁式低压电器；利用集成电路或电子元件构成的低压电器，称为电子式低压电器；利用现代控制原理构成的低压电器，称为自动化电器、智能化电器或可通信电器等。

1.2.1　低压电器基础知识

1．低压电器的分类

低压电器种类繁多，有多种分类方法。

（1）按动作方式分为自动电器和手动电器。

① 自动电器：依靠本身参数的变化或外来信号的作用，自动完成接通或分断等动作的电器，如接触器、继电器。

② 手动电器：用手直接操作来进行切换的电器，如刀开关、控制器、转换开关等。

（2）按用途分为控制电器和配电电器。

① 控制电器：用于各种控制电路和控制系统的电器，如接触器、继电器、主令电器、控制器、电磁铁等。

② 配电电器：用于电能的输送和分配的电器，如隔离开关、刀开关、熔断器、自动开关等。

另外，按电器的执行功能还可分为有触点电器和无触点电器。表 1.2 列出了常用低压电器的分类和用途。

表 1.2　常用低压电器的分类和用途

种　类	名　称	主要品种	用　途
配电电器	刀开关	负荷开关 熔断器式开关 板形刀开关	主要用于电路的隔离，也能接通和分断额定电流
	转换开关	组合开关 换向开关	用于两种以上电源和负载的转换，接通或分断电路
	低压断路器	塑壳式低压断路器 框架式低压断路器 限流式低压断路器 漏电保护开关	用于线路过载、短路或欠压保护，也可用于不频繁接通和断开电路

续表

种类	名称	主要品种	用途
配电电器	熔断器	无填料式熔断器 有填料式熔断器 快速熔断器 自动熔断器	用于电器设备的过载和短路保护
	接触器	交流接触器 直流接触器	用于远距离频繁启动和控制电动机，接通和分断正常工作的电路
控制电器	继电器	热继电器 中间继电器 时间继电器 电流继电器 速度继电器	主要用于控制系统，用于控制其他电器或作为主电路的保护
	启动器	磁力启动器 降压启动器	主要用于电动机的启动和正反转控制
	控制器	轮控制器 主令控制器	主要用于电气设备中转换主电路或励磁回路的接法，完成换向和调速
	主令电器	按钮 限位开关 万能转换开关 微动开关	主要用于接通和分断控制电路
	变阻器	励磁变阻器 启动变阻器 频敏变阻器	用于发电机及电动机减压启动和调速
	电磁铁	起重电磁铁 牵引电磁铁 制动电磁铁	用于起重、操纵或牵引机械装置

2．产品电气型号

目前国产低压电器均用汉语拼音字母及阿拉伯数字来表示，方法如下：

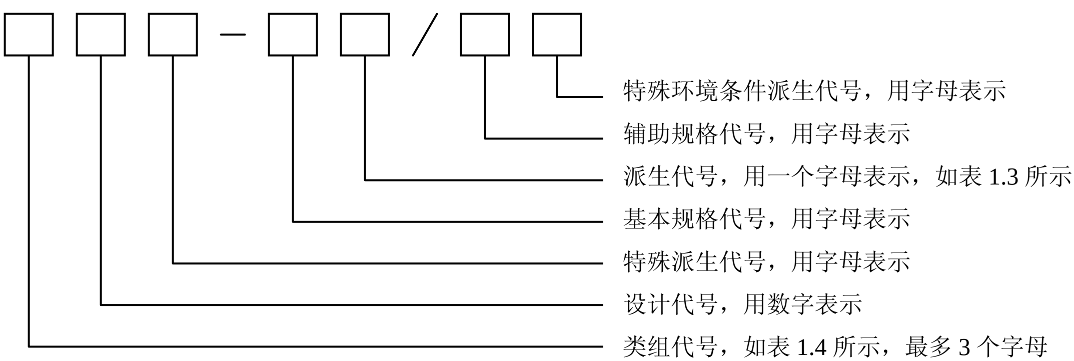


表 1.3 和表 1.4 列出了低压电器通用派生字母及类组代号含义。

表 1.3　通用派生字母表及表示含义

派 生 字 母	代 表 含 义	派 生 字 母	代 表 含 义
A，B	结构设计稍有改进和变化	N	可逆、逆向
C	插入式	S	三相、双线圈、防水式、手动复位、三个电源、有锁住机构
E	电子式	M	灭磁、母线式、密封式
J	交流、防电、节电型	Q	防尘式、手车式
P	单相、电压的、防滴式电磁复位、两个电源	L	电流的、漏电保护
K	开启式	F	高返回、带分励脱扣
H	保护式、带缓冲装置	X	限流
Z	直流、防震、正向、重任务、自动复位等	TH	温热带，为热带产品号
W	失压、无极性、无灭弧装置	TA	干热带，加在型号末

表 1.4　低压电器型号的类组代号表

代号	H	R	D	K	C	Q	J	L	Z	B	M	A
名称	刀开关和转换开关	熔断器	自动开关	控制器	接触器	启动器	控制继电器	主令电器	电阻器	变阻器	电磁铁	其他
A						按钮式		按钮				
C		插入式				电磁式			板形元件			触电保护器
D	刀开关						漏电			冲片元件		插座
G				鼓形	高压				带形元件			信号灯
H	封闭式负荷开关	汇流排式							管形元件			接线盒
J					交流	减压		接近开关				
K	开启式刀开关				真空			主令控制器				
L		螺旋式					电流			励磁		电铃
M		封闭管式	灭弧		灭弧							
P				平面	中频					频敏		
Q										启动	牵引	
R	熔断器式刀开关						热		非线性电力电阻			

续表

代号	H	R	D	K	C	Q	J	L	Z	B	M	A
名称	刀开关和转换开关	熔断器	自动开关	控制器	接触器	启动器	控制继电器	主令电器	电阻器	变阻器	电磁铁	其他
S	转换开关	快速	快速		时间	手动	时间	主令开关	烧结元件	石墨		
T		有填料填封闭管式		凸轮	通用		通用	足踏开关	铸铁元件	启动调速		
U						油浸		旋钮		油浸启动		
W			框架式				温度	万能转换开关		液体启动	起重	
X						星三角		行程开关	电阻器	滑线式		
Y	其他	其他	其他	其他	其他	其他	其他		硅碳电阻元件	其他	液压	
Z	组合开关	自复	塑料外壳式		直流	综合	中间				制动	

3. 低压电器的产品标准及选用

低压电器产品标准内容包括产品的用途、适用范围、环境条件、技术性能要求、试验项目和方法、包装运输的要求等，可归纳为“三化、四统一”，即标准化、系列化、通用化，统一型号规格、统一技术条件、统一外形及其安装尺寸、统一易损零部件。它是制造厂制造及用户验收的依据。

正确地选用低压电器即选用合理、使用正确、技术和经济相互兼顾。选用的一般原则为：安全原则、经济原则。

4. 常用术语

闭合时间：开关电器从闭合操作开始瞬间起，到所有极的触头都接触瞬间为止的时间间隔。

断开时间：开关电器从断开操作开始瞬间起，到所有极的触头都分开为止的时间间隔。

通断时间：从电流开始在开关电器一个极流过瞬间起，到所有的电弧最终熄灭瞬间为止的时间间隔。

分断能力：电器在规定的条件下，能在给定的电压下分断的预期分断电流值。

接通能力：开关电器在规定的条件下，能在给定的电压下接通的预期接通的电流值。

通断能力：开关电器在规定的条件下，能在给定电压下接通和分断的预期电流值。

操作频率：开关电器在每小时内可能实现的最高操作循环次数。

通电持续率：电器的有载时间和工作周期之比，常用百分数表示。

机械寿命：机械开关电器在需要修理或更换机械零件前所能承受的无载操作循环次数。

电气寿命：在规定的正常工作条件下，机械开关电器不需要修理或更换零件的负载操作循环次数。

1.2.2　开关类电器及主令电器

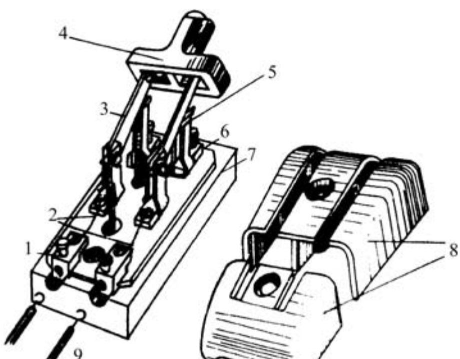
1．开关类电器

低压开关主要用于隔离、转换及接通和分断电路。常作为机床电路的电源开关、局部照明电路的控制及小容量电动机的启动、停止和正反转控制等。

常用的低压开关类电器包括刀开关、转换开关、自动开关等。

（1）刀开关。普通刀开关是一种结构最简单且应用最广泛的低压电器，主要类型有：负荷开关（如：胶盖闸刀开关和铁壳开关）、板形刀开关。这里主要对胶盖闸刀开关（简称闸刀开关）进行介绍。闸刀开关又称开启式负荷开关，广泛用在照明电路和小容量（5.5kW）、不频繁启动的动力电路的控制电路中。

闸刀开关的主要结构如图 1.23 所示。

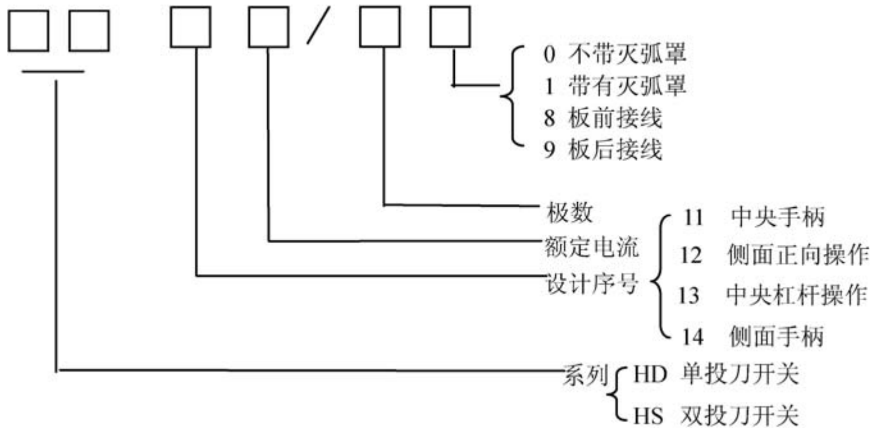


1—出线盒；2—熔丝；
3—动触头；4—手柄；5—静触头；
6—电源进线座；7—瓷座；8—胶盖；9—接用电器

图 1.23　刀开关的结构图

刀开关安装时，瓷底应与地面垂直，手柄向上，不得倒装或平装。因为当闸刀带负荷分断电路时，刀片与夹座间将产生电弧。正装时电弧在电磁力和上升热气流作用下会被拉长，容易冷却，便于灭弧。反之灭弧则比较困难，严重时会使触头及刀片烧伤，甚至造成相间短路。另外，倒装时手柄可能因自重落下而引起误合闸，危及人身和设备安全，所以在拉线时，应将电源线接在上端，负载接在下端，保证拉闸后刀片与电源隔离，防止意外事故发生。

刀开关的型号含义如下：



刀开关的图形符号及文字符号如图 1.24 所示。

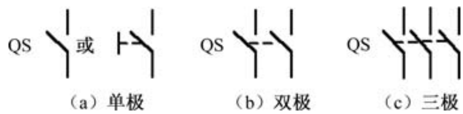


图 1.24 刀开关的图形符号

刀开关的主要技术参数有额定电流、额定电压、极数、控制容量等。

选用刀开关时，应注意以下三点：

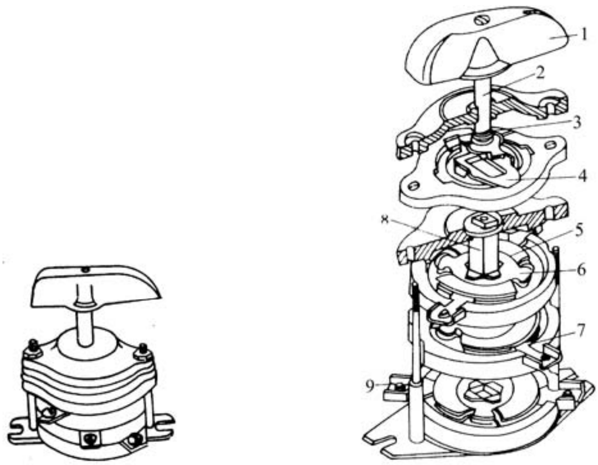
① 根据电压和极数选择。控制单相负载时，选用 220V 或 250V 二极开关；控制三相负载时，选用 380V 三相开关。

② 根据额定电流选择。用于控制照明电路或其他电阻负载时，开关额定电流应大于等于各负载额定电流之和；用于电动机或感性负载时，开关额定电流是最大一台电动机额定电流的 2.5 倍与其他电动机额定电流之和。

③ 检查各刀片与对应夹座是否直线接触、开合是否同步，夹座对刀片接触压力是否足够。

（2）组合开关，又称转换开关，它实质上也是一种特殊刀开关。不过一般刀开关的操作手柄是在垂直安装面的平面内向上或向下转动，而转换开关的操作手柄则是平行于安装面的平面内向左或向右转动。组合开关多用在机床电气控制线路中，作为电源的引入开关，也可以用做不频繁地接通和断开电路、换接电源和负载及控制 5kW 以下的小容量电动机的正反转和星三角启动。

转换开关有两种形式，如图 1.25 所示。内部有三对静触点分别用三层绝缘板相隔，各自附有连接线路的接线桩。三个动触点互相绝缘，与各自的静触点对应，套在共同的绝缘杆上。绝缘杆的一端装有操作手柄，转动手柄，即可完成三组触点之间的开合或切换。开关内装有速断弹簧，用以加速开关的分断速度。

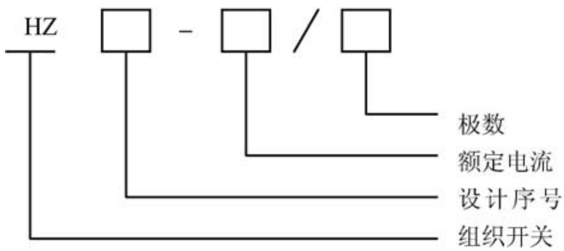


（a）外形图　　（b）内部结构

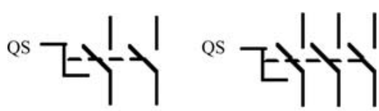
1—手柄；2—转轴；3—弹簧；4—凸轮；5—绝缘垫板；
6—动触点；7—静触点；8—绝缘方轴；9—接线柱

图 1.25　组合开关的结构图

组合开关型号的含义如下：



转换开关的图形符号及文字符号如图 1.26 所示。



（a）双极　　（b）三极

图 1.26　组合开关的图形符号和文字符号

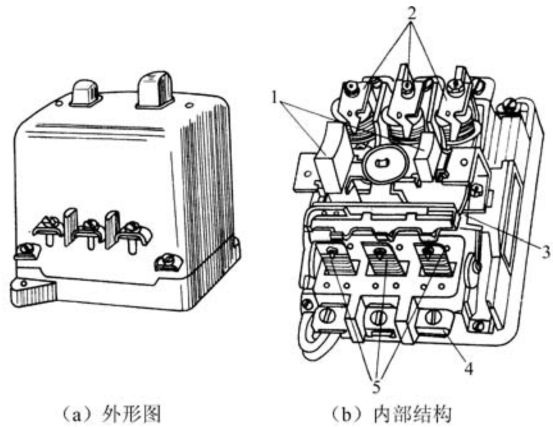
选用转换开关时，应根据用电设备的耐压等级、容量和极数等因素考虑。用于控制照明或电热设备时，其额定电流应等于或大于各负载电流之和。用于控制小型电动机不频繁全压启动时，其额定电流应大于电动机额定电流的 1.5 倍～2.5 倍，每小时切换次数不宜超过 15 次～20 次。如果用于控制电动机正反转，在从正转切换到反转的过程中，必须先经过停止位置，待电动机停转后，再切换到反转位置。

转换开关本身不带过载和短路保护装置，在它所控制的电路中，必须另外加装保护设备。

（3）自动开关。自动开关又叫自动空气开关或自动空气断路器。它集控制和多种保护功能于一身，除能完成接通和分断电路外，还能对电路或电气设备发生的短路、过载、失压等故障进行保护。它的动作参数可以根据用电设备的要求人为调整，使用方便可靠。通常自

动开关因其结构不同，可分为装置式和万能式两类。这里以装置式为例进行介绍。

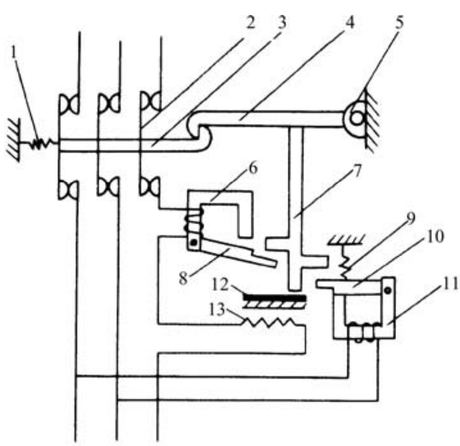
① 自动开关的结构及原理。装置式自动开关又称塑料外壳式（简称塑壳式）自动开关或塑壳式低压断路器。一般用做配电线路的保护开关，电动机及照明电路的控制开关等。其结构及外形如图 1.27 所示。其主要部分由触点系统、灭弧装置、自动与手动操作机构、脱扣器外壳等组成。其中脱扣器是断路器的核心，可人为整定其动作电流。



1—按钮；2—电磁脱扣器；3—自由脱扣器；4—接线柱；5—热脱扣器

图 1.27　常用装置式自动开关结构

塑壳式低压断路器工作原理如图 1.28 所示。正常状态下，触头 2 合闸，与转轴 5 相连的锁扣 3 扣住跳扣 4，使弹簧 1 受力而处于储能状态。此时，热脱扣器的发热元件 13 温升不高，不会使双金属片 12 弯曲到顶住连杆 7 的程度。电磁脱扣器 6 的线圈磁力不大，不能吸住衔铁 8 去拨动连杆 7，开关处于正常吸合供电状态。若主电路发生过载或短路，电流超过热脱扣器或电磁脱扣器 6 动作电流时，双金属片 12 或衔铁 8 将拨动连杆 7，使跳扣 4 顶离锁扣 3，弹簧 1 的拉力使触头 2 分离切断主电路。当电压出现失压或低于动作值时，线圈 11 的磁力减弱，衔铁 10 受弹簧 9 拉力向上移动，顶起连杆 7 使跳扣 4 与锁扣 3 分开切断回路，起到失压保护作用。



1，9—弹簧；2—触头；3—锁扣；4—跳扣；5—转轴；6—电磁脱扣器；
7—连杆；8，10—衔铁；11—线圈；12—双金属片；13—发热元件

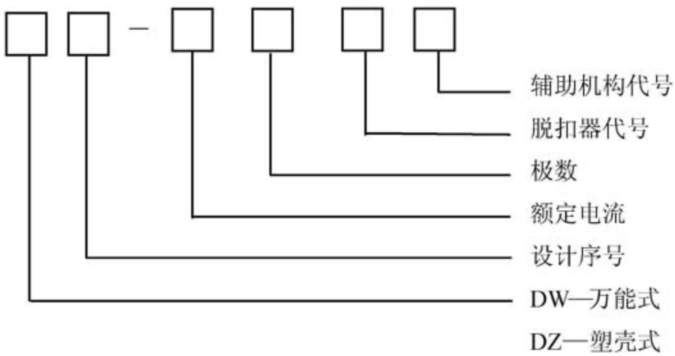
图 1.28　DZ 型塑壳式低压断路器原理图

脱扣器是自动开关的主要保护装置，包括电磁脱扣器（用于短路保护）、热脱扣器（用于过载保护）、失压脱扣器以及由电磁和热脱扣器组合而成的复式脱扣器等种类。电磁脱扣器的线圈串联在主电路中，若电路或设备短路，主电路电流增大，线圈磁场增强，吸动衔铁，使操作机构动作，断开主触点，分断主电路而起到短路保护作用。电磁脱扣器有调节螺钉，可以根据用电设备容量和使用条件手动调节脱扣器动作电流的大小。

热脱扣器是一个双金属片热继电器。它的发热元件串联在主电路中。当电路过载时，过载电流使发热元件温度升高，双金属片受热弯曲，顶动自动操作机构动作，断开主触点，切断主电路而起到过载保护作用。热脱扣器也有调节螺钉，可以根据需要调节脱扣电流的大小。

② 自动开关的技术参数和型号。自动开关的主要技术参数有：额定电压、额定电流、极数、脱扣器类型及额定电流、脱扣器整定电流、主触点与辅助触点的分断能力和动作时间等。

自动开关的型号含义如下：



自动开关的图形符号及文字符号如图 1.29 所示。

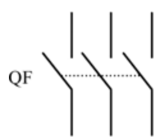


图 1.29　自动开关的图形符号及文字符号

③ 自动开关的选用。

a）自动开关的额定工作电压≥线路额定电压。

b）自动开关的额定电流≥线路计算负载电流。

c）热脱扣器的整定电流 = 所控制负载的额定电流。

d）电磁脱扣器的瞬时脱扣整定电流＞负载电路正常工作时的峰值电流。

对于单台电动机：$I_z \geqslant K \cdot I_{st}$

其中 K 为安全系数；I_{ST} 为电动机的启动电流。

对于多台电动机：$I_z \geqslant K \cdot (I_{stmax}+\sum I_N)$

其中 K 取 1.5～1.7，I_{stmax} 为最大容量的一台电动机的启动电流，$\sum I_N$ 为其余电动机额定电流的总和。

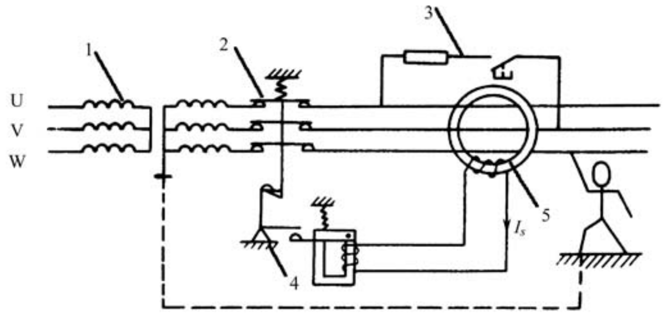
e）自动开关欠电压脱扣器的额定电压 = 线路额定电压。

（4）漏电保护器，又称漏电保护自动开关或漏电保安器。它主要用于当发生人身触电或漏电时，能迅速切断电源，保障人身安全，防止触电事故发生。有的漏电保护器还兼有过

载、短路保护及做不频繁启、停电动机用。

漏电保护器按工作原理分，有电压型漏电开关、电流型漏电开关（包括电磁式、电子式）、电流型漏电继电器等，常用的主要是电流型的。这里主要介绍电磁式电流型漏电开关。

① 漏电开关的结构及原理。电磁式电流型漏电开关由主开关、试验电路、电磁式漏电脱扣器和零序电流互感器组成，其工作原理如图 1.30 所示。



1—电源变压器；2—主开关；3—测试回路；4—电磁脱扣器；5—零序电流互感器

图 1.30 电磁式电流型漏电开关工作原理

当正常工作时，不论三相负载是否平衡，通过零序电流互感器主电路的三相电流相量和等于零，故其二次绕组中无感应电动势产生，漏电开关工作于闭合状态。如果发生漏电或触电事故，三相电流之和便不再等于零，而等于某一电流值 I_e。I_e 会通过人体、大地、变压器中性点形成回路，这样零序电流互感器二次，则产生与 I_e 对应的感应电动势加到脱扣器上，当 I_e 达到一定值时，脱扣器动作，推动主开关的锁扣，分断主电路。

② 漏电保护器的选用。选用漏电保护器主要考虑额定电压、额定电流、脱扣器整定电流及极限通断能力等参数。此外还可依据使用场所、保护对象、气候条件、线路状况等选用其类型。

a）额定电压或额定电流要大于或等于线路的额定电压或计算电流。

b）脱扣器的动作电流及额定电流要大于计算电流。

c）其极限通断能力应大于或等于线路最大短路电流。

d）线路末端单相对地短路电流与漏电开关瞬时脱扣器整定电流之比要大于或等于 1.25。

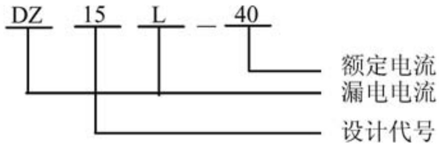
e）供电方式：对于单相 220V 电源供电的电气设备，应选用二极式或单极二线式；对于三相三线制 380V 供电的电气设备，应选用三极三线式；对于三相四线制 380V 电源供电的电气设备或单相设备与三相设备共用的电路，应选用三极四线式、四极四线式漏电保护开关。

f）防护要求：在低压电路中，需采用“两级保护”的用电方式。总变（配）电低压柜上安装一个总漏电保护开关，这是第一级，用于低压电网保护，以缩小停电范围，消除触电事故隐患和防止间接触电为目的；而现场岗位（或设备）安装的分路漏电保护开关是第二级保护，是以防止直接触电为目的。

g）特殊场所的防护：潮湿场所应选用快速动作型的漏电保护开关，额定动作电流为 15mA～30mA；在金属物体上工作，应选用快速动作型的漏电保护开关，额定动作电流为 10mA；对于电气火灾防护，应选用报警式漏电保护开关，当漏电流超过预定值时，能发出

声光报警信号，并能自动切断电源。

③ 漏电保护器的型号：常用漏电保护器有 DZ15L—40 系列和 DZ5—20L 系列，其型号含义如下：



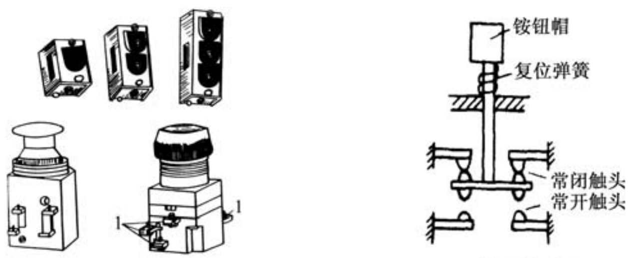
2．主令电器

主令电器是指在电气自动控制系统中用来发出信号指令的电器，是一种用于辅助作用的控制电器。它的信号指令将通过继电器、接触器和其他电器的动作，接通和分断被控制电路，以实现对电动机和其他生产机械的远距离控制。常用的主令电器有按钮、行程开关、接近开关、万能转换开关、主令控制器。其他主令电器还有脚踏开关、倒顺开关、紧急开关、钮子开关、指示灯等。

（1）按钮，又称控制按钮或按钮开关，是一种手动控制电器。它只能短时接通或分断 5A 以下的小电流电路，向其他电器发出指令性的电信号，控制其他电器动作。由于按钮载流量小，不能直接控制主电路的通断。

铵钮的结构及外形如图 1.31 所示，主要由按钮帽、复位弹簧、动断触点（常闭触点）、动合触点（常开触点）、接线桩及外壳等组成。

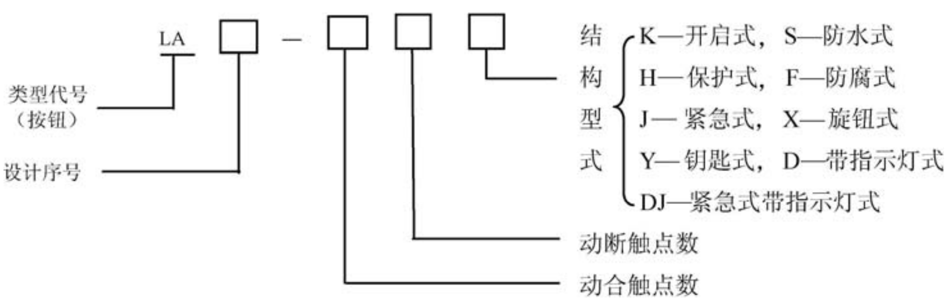
由于按钮的触点结构、数量和用途的不同，它又分为停止按钮（动断按钮）、启动按钮（动合按钮）和复合按钮（既有动断触点，又有动合触点）。图 1.31 所示的即为复合按钮，在按下按钮帽令其动作时，首先断开动断触点，通过一定行程后接通动合触点；松开按钮帽时，复位弹簧先将动合触点分断，通过一定行程后动断触点闭合。



（a）外形　（b）结构原理图

图 1.31　LA19—11 型按钮结构图

常用的按钮种类有 LA2，LA18，LA19 和 LA20 等系列。其型号含义如下：



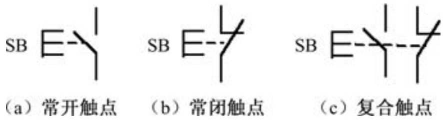


图 1.32　按钮的图形符号及文字符号

按钮的图形符号及文字符号如图 1.32 所示。

控制按钮的主要技术参数有：规格、结构型式、触点对数和按钮颜色等。选择使用时应从使用场合、所需触点数及按钮帽的颜色等因素考虑。一般红色表示停止，绿色表示启动，黄色表示干预。

（2）行程开关，又称限位开关或位置开关。它利用生产机械运动部件的碰撞，使其内部触点动作，分断或切换电路，从而控制生产机械行程、位置或改变其运动状态。

为了适应生产机械对行程开关的碰撞，行程开关有不同的结构形式，常用碰撞部分有直动式（按钮式）和滚动式（旋转式）；其中滚动式又有单滚轮式和双滚轮式两种；如图 1.33 所示。

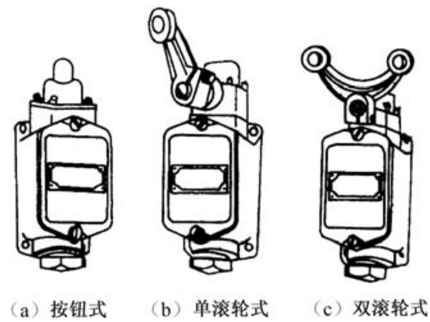


图 1.33　常用行程开关外形

行程开关的结构和动作原理如图 1.34 所示，当生产机械撞块碰触行程开关滚轮时，使传动杠杆和转轴一起转动，转轴上的凸轮推动推杆使微动开关动作，接通动合触点，分断动断触点，指令生产机械停车、反转或变速。对于单滚轮自动复位的行程开关，只要生产机械撞块离开滚轮后，复位弹簧能将已动作的部分恢复到动作前的位置，为下一次动作做好准备。有双滚轮的行程开关在生产机械碰撞第一只滚轮时，内部微动开关动作，发出信号指令，但生产机械撞块离开滚轮后不能自动复位，必须生产机械碰撞第二个滚轮时，方能复位。

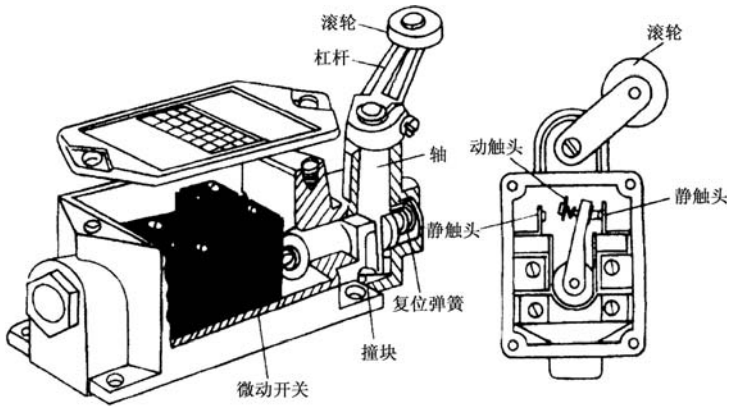
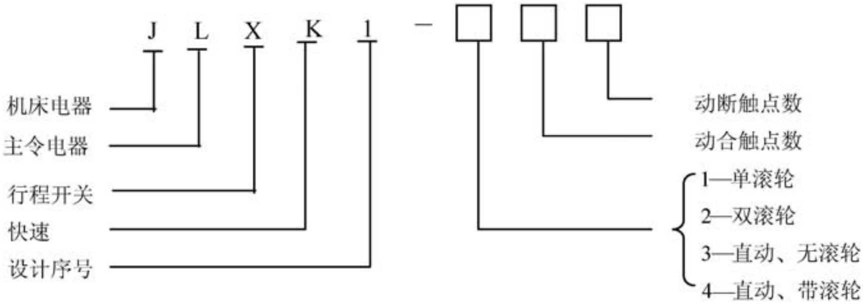


图 1.34　JLXK—11 型行程开关动作原理图

常用行程开关型号含义如下：



行程开关的图形符号及文字符号如图 1.35 所示。



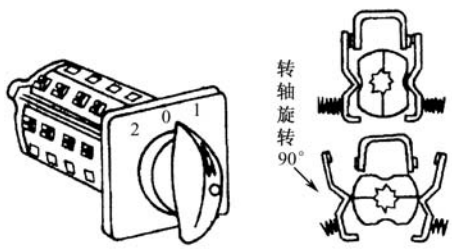
（a）常开触点　　（b）常闭触点

图 1.35　行程开关的图形符号及文字符号

行程开关的主要技术参数有额定电压、额定电流、触点换接时间、动作角度或工作行程、触点数量、结构形式和操作频率等。

（3）万能转换开关，是具有更多操作位置和触点、能够接多个电路的一种手动控制电器。由于它的挡位多、触点多，可控制多个电路，能适应复杂线路的要求，故有“万能”之称。

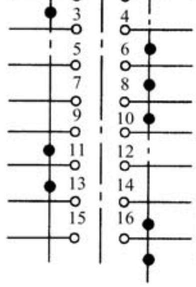
万能转换开关的结构由多层凸轮及与之对应的触点底座叠装而成。每层触点底座内将有一对或三对触点并与凸轮配合。操作时手柄带动转轴与凸轮同步转动，凸轮的转动即可驱动触点系统的分断与闭合，如图 1.36 所示，从而实现被控制电路的分断与接通。需要注意的是，由于凸轮形状的不同，手柄位于同一位置时，有的触点闭合，有的则分断。



（a）外形　　（b）凸轮通断触点示意图

图 1.36　LW5 系列万能转换开关

万能转换开关在电路图中的图形符号如图 1.37 所示，它有八对触点，两个操作位置。各层触点在不同位置时的开、合情况如图 1.37（a）所示。图中“ ─○ ○─ ”代表一路触点，每一竖点画线则表示手柄位置，在某一位置该哪路接通，即用下方的黑点表示。在图 1.37（b）的触点通断表中，在Ⅰ或Ⅱ位置，凡打有“×”表示该两个触点接通。

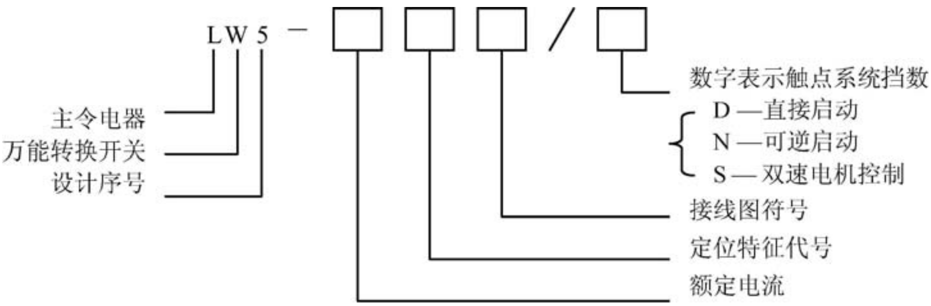


触点标号	I	0	II
1—2	×		
3—4			×
5—6			×
7—8			×
9—10	×		
11—12	×		
13—14			×
15—16			×

（a）符号　　（b）触点通断表

图 1.37　万能转换开关符号及触点通断表

万能转换开关型号含义为：



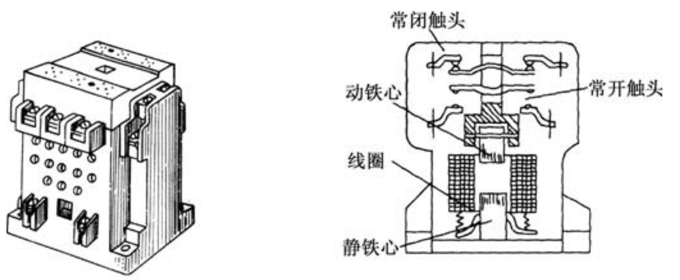
表征万能转换开关特性的参数有额定电压、额定电流、手柄形式、触点座数、触点对数、触点座排列形式、定位特征代号、手柄定位角度等。如型号为 LW5-12D0321/2，其含义为设计序号为 5 的万能转换开关，额定电流 12A，定位特征 D 表示定位式，手柄位置 45°、0°、反向 45°，触点挡数为 2。

1.2.3 接触器

接触器是一种用来频繁接通和断开交直流主电路及大容量控制电路的自动切换电器。它具有低压释放保护功能，并且用于频繁操作和远距离控制，是电力拖动自动控制线路中使用最广泛的电器元件。因它不具备短路保护作用，常和熔断器、热继电器等保护电器配合使用。按电流种类通常分为交流接触器和直流接触器两类。

1．交流接触器

（1）交流接触器的基本结构。交流接触器的主要部分是电磁系统、触点系统和灭弧装置，其外形和结构如图 1.38 所示。



（a）外形　（b）结构

图 1.38　交流接触器

① 电磁系统。电磁系统的作用是将电磁能转换成为机械能并带动触点闭合或断开。通常采用电磁铁的形式，由电磁线圈、静铁心（铁心）、动铁心（衔铁）等组成，其中动铁心与动触点支架相连。电源线圈通电时产生磁场，使动、静铁心磁化互相吸引，当动铁心被吸引向静铁心时，与动铁心相连的动触点也被拉向静触点，令其闭合接通电路。电磁线圈断电后，磁场消失，动铁心在复位弹簧作用下，回到原位，牵动动、静触点，分断电路。交流接触器电磁机构的原理如图 1.39 所示。

交流接触器的铁心由硅钢片叠加而成，这样可减少交变磁通在铁心中的涡流和磁滞损耗。在有交变电流通过电磁线圈时，线圈磁场对衔铁的吸引力也是交变的，当交流电流通过

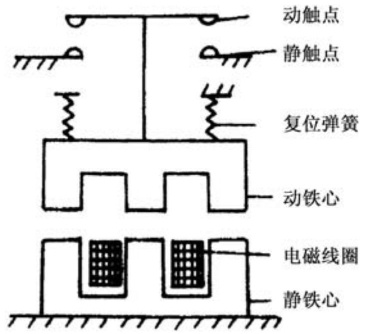


图 1.39　交流接触器电磁机构原理

零值时，线圈磁通为零，对衔铁的吸引也为零，衔铁在复位弹簧作用下将产生释放趋势，这就使动、静铁心之间的吸引力随着交流电的变化而变化，从而产生振动和噪音，加速动、静铁心接触面积的磨损，引起结合不良，严重时还会使触点烧蚀。为了消除这一弊端，在铁心柱面的一部分，嵌入一只铜环，名为短路环，如图 1.40 所示。该短路环相当于变压器副边绕组，在线圈通入交流电时，不仅线圈产生磁通，短路环中的感应电流也将产生磁通。短路环相当于纯电感电路，从纯电感电路的相位关系可知，线圈电流磁通与短路环感应电流磁通不同时为零，即电源输入的交流电流通过零值时，短路环感应电流不为零。此时，它的磁场对衔铁起着吸引作用，从而克服了衔铁被释放的趋势，使衔铁在通电过程总是处于吸合状态，明显减小了振动和噪音。所以短路环又叫减振环，它通常由铜、康铜或镍铬合金制成。

根据线圈在电路中的串并关系，电磁线圈分为电压线圈和电流线圈。电压线圈并联在电路中，电流线圈串联在电路中。

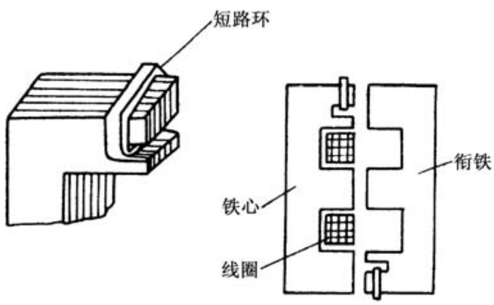


图 1.40　铁心上的短路环

② 触点系统。触点系统按功能不同分为主触点和辅助触点两类。主触点用于接通和分断主电路；辅助触点用于接通和分断二次电路，还能起互锁和联锁作用。小型触点一般用银合金制成，大型触点用铜材制成。

触点系统按形状不同分为桥式触点和指形触点。桥式触点如图 1.41（a）和图 1.41（b）所示，分为点接触桥式触点和面接触桥式触点。其中点接触桥式触点适用于工作电流不大，接触电压较小的场合，如辅助触点。面接触桥式触点的载流容量较大，多用于小型交流接触器主触点。如图 1.41（c）所示为指形触点，其接触区为一直线，触点闭合时产生滚动接触，适用于动作频繁、负荷电流大的场合。

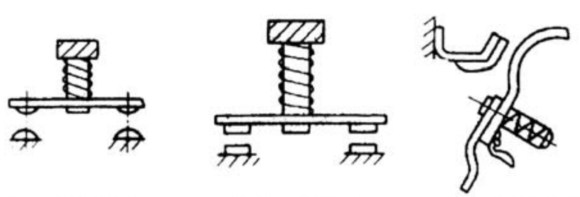
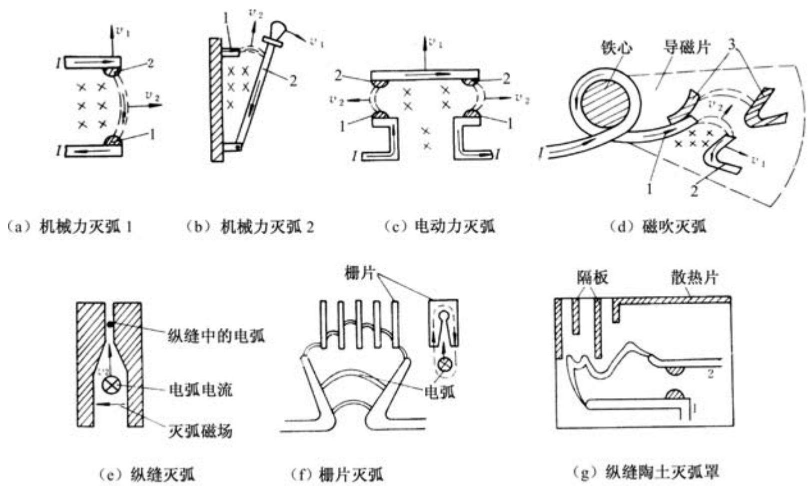

（a）点接触桥式　（b）面接触桥式　（c）线接触指形

图 1.41　交流接触器触点的结构形式

③ 灭弧装置。各种有触点电器都是通过触点的开、闭来通、断电路的，其触头在闭合和断开（包括熔体在熔断时）的瞬间，都会在触头间隙中由电子流产生弧状的火花，这种由电气原因产生的火花，称为电弧。触头间的电压越高，电弧就越大；负载的电感越大，断开时的火花也越大。在开断电路时产生电弧，一方面使电路仍然保持导通状态，延迟了电路的开断，另一方面会烧损触点，缩短电路的使用寿命。因此，要采取一些必要的措施来灭弧。常用的灭弧措施如图 1.42 所示。



1—静触点；2—动触点；3—引弧角；v_1—动触点移动速度；v_2—电弧在磁场力作用下移动速度

图 1.42　灭弧措施

④ 其他部件。交流接触器除上述三个主要部件外，还有外壳、传动机构、接线桩、反作用弹簧、复位弹簧、缓冲装置、触点压力弹簧等附件。

（2）交流接触器的工作原理。当线圈通电后，线圈产生磁场，使静铁心产生电磁吸力，将衔铁吸合。衔铁带动动触头动作，使常闭触头断开，常开触头闭合，分断或接通相关电路。当线圈断电时，电磁吸力消失，衔铁在反作用弹簧的作用下释放，各触头随之复位。

2．直流接触器

直流接触器的结构和工作原理基本上与交流接触器相同，不同的是电磁铁结构。直流接触器的电磁铁在稳定状态下通过恒定磁通，铁心中没有磁滞损耗和涡流损耗，故不产生热量，只有线圈产生热量。因此，直流接触器的铁心是用整块钢材或工程纯铁制成的。电磁线圈没有骨架，且做成细长形，以增加线圈和铁心的接触面积，利于线圈热量从铁心散发出去。而交流接触器的铁心用硅钢片叠加而成，其电磁线圈设有骨架。在触头系统中，直流接触器主触头常采用滚动接触的指形触头，通常为一对或两对。灭弧装置中，由于直流电弧比交流电弧难以熄灭，直流接触器常采用磁吹灭弧。

3．接触器的类型及主要技术参数

（1）接触器常用类型。常用的交流接触器有 CJ10 和 CJ12 系列，常用的直流接触器有 CZ0 系列。表 1.5 列出了交流接触器的技术数据。

表 1.5　CJ10 系列交流接触器的技术数据

型　号	额定电压值 U_N（V）	额定电流值 I_N（A）	可控电动机最大功率值 P_{max}（kW）			线圈消耗功率值 VA（W）		最大操作频率（次/小时）
			220V	380V	500V	启动	吸持	
CJ10-5	380 500	5	1.2	2.2	2.2	35/-	6/2	600
CJ10-10		10	2.2	4	4	65/-	11/5	
CJ10-20		20	5.5	10	10	140/-	22/9	
CJ10-40		40	11	20	20	230/-	32/12	
CJ10-60		60	17	30	30	485/-	95/26	
CJ10-100		100	30	50	50	760/-	105/27	
CJ10-150		150	43	75	75	950/-	110/28	

（2）接触器的技术参数。

① 额定电压。接触器铭牌上的额定电压是指主触头的额定电压。交流有 127V，220V，380V，500V；直流有 110V，220V，440V。

② 额定电流。接触器铭牌上的额定电流是指主触头的额定电流。有 5A，10A，20A，40A，60A，100A，150A，250A，400A，600A。

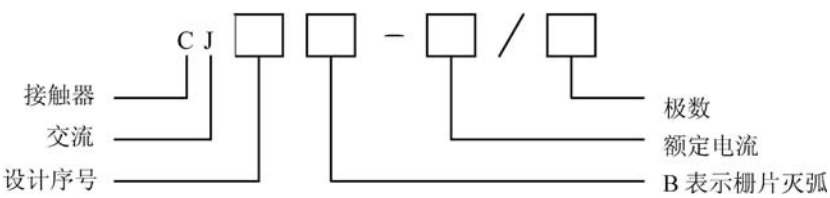
③ 吸引线圈的额定电压。交流有 36V，110V，127V，220V，380V；直流有 24V，48V，220V，440V。

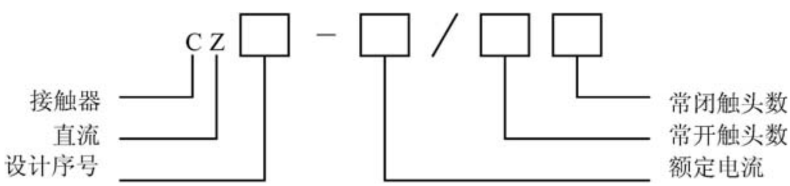
④ 电气寿命和机械寿命（以万次表示）。

⑤ 额定操作频率（以次/小时表示）。

⑥ 主触点和辅助触点数目。

（3）接触器型号与符号的表示。常用接触器的型号含义如下：





接触器的图形符号及文字符号如图 1.43 所示。

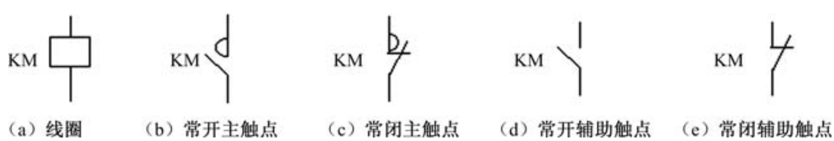


图 1.43　接触器的图形符号及文字符号

4．接触器的选择

（1）根据接触器所控制的负载性质来选择接触器的类型。

（2）接触器的额定电压不得低于被控制电路的最高电压。

（3）接触器的额定电流应大于被控制电路的最大电流。对于电动机负载有下列经验公式：

$$I_C \geqslant \frac{P_N \times 10^3}{KU_N}$$

式中 I_C——接触器的额定电流；

P_N——电动机的额定功率；

U_N——电动机的额定电压；

K——经验系数，一般取 1～1.4。

接触器在频繁启动、制动和正反转的场合时，一般其额定电流降一个等级来选用。

（4）电磁线圈的额定电压应与所接控制电路的电压相一致。

（5）接触器的触头数量和种类应满足主电路和控制线路的要求。

1.2.4 继电器

继电器是一种小信号控制电器。它利用电流、电压、时间、速度、温度等信号来接通和分断小电流电路，广泛用于电动机或线路的保护及各种生产机械的自动控制。由于继电器一般都不用来直接控制主电路，而是通过接触器和其他开关设备对主电路进行控制，因此继电器载流容量小，不需灭弧装置。继电器有体积小、重量轻、结构简单等优点，但对其动作的灵敏度要求较高。常用的继电器有电压继电器、电流继电器、中间继电器、热继电器、时间继电器和速度继电器等，其中电压继电器、电流继电器、中间继电器均为电磁式。

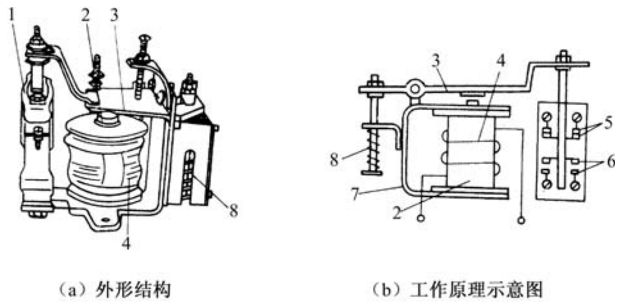
1．电磁式继电器

电磁式继电器，也叫有触点继电器，它的结构和动作原理与接触器大致相同。但电磁式继电器在结构上体积较小，动作灵敏，没有庞大的灭弧装置，且触点的种类和数量也较多。

（1）电磁式继电器的原理及特性。继电器的主要特性用“继电特性”来表示，它反映的是继电器触点动作的输入量与输出量之间的关系。

① 电流继电器。电流继电器的线圈与被测电路串联，以反应电路电流的变化。为不影响电路工作情况，其线圈匝数少、导线粗、线圈阻抗小。

电流继电器又有欠电流和过电流继电器之分。欠电流继电器的吸引电流为额定电流的 30%～65%，释放电流为额定电流的 10%～20%。因此，在电路正常工作时，其衔铁是吸合的；只有当电流降低到某一程度时，继电器释放，输出信号。过电流继电器在电路正常工作时不动作，当电流超过某一整定值时才动作，整定范围通常为 1.1 倍～4 倍额定电流。如图 1.44 所示，当接于主电路的线圈为额定值时，它所产生的电磁引力不能克服反作用弹簧的作用力，继电器不动作，常闭触点闭合，维持电路正常工作。一旦通过线圈的电流超过整定值，线圈电磁力将大于弹簧反作用力，静铁心吸引衔铁使其动作，分断常闭触点，切断控制回路，保护了电路和负载。



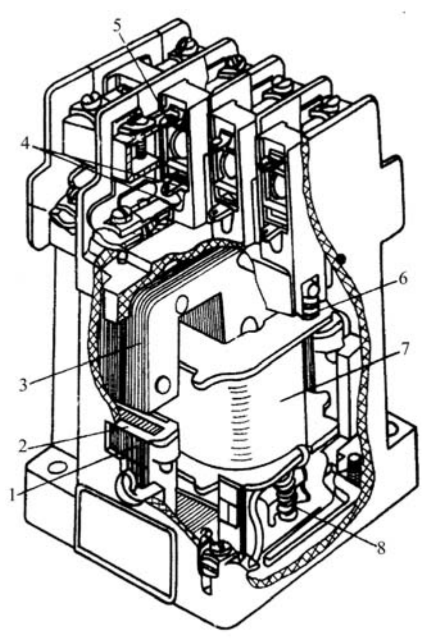
1—触头；2—静铁心；3—衔铁；4—电流线圈；
5—常闭触头；6—常开触头；7—磁轭；8—反力弹簧

图 1.44　JT4 系列过电流继电器

② 电压继电器。电压继电器的结构与电流继电器相似，不同的是电压继电器的线圈为并联的电压线圈，匝数多、导线细、阻抗大。

根据动作电压值的不同，电压继电器有过电压、欠电压和零电压继电器之分。过电压继器在电压大于额定值的 110%～115%时动作，欠电压继电器在额定值的 40%～70%时动作，而零电压继电器当电压降至额定值的 5%～25%时动作。

③ 中间继电器。中间继电器实质上为电压继电器，但它的触点对数多，触头容量较大，动作灵敏。其主要用途为：当其他继电器的触头对数或触头容量不够时，可借助中间继电器来扩大它们的触头数和触头容量，起到中间转换作用。如图 1.45 所示为中间继电器外形结构。



1—静触头；2—短路环；
3—动铁心；4—常开触头；5—常闭触头；
6—恢复弹簧；7—线圈；8—缓冲弹簧

图 1.45　JZ7 系列中间继电器

（2）电磁式继电器的整定。

① 调整释放弹簧的松紧程度。释放弹簧调得越紧，反作用力增大，则吸引电流（电压）、释放电流（电压）就越大，反之则越小。

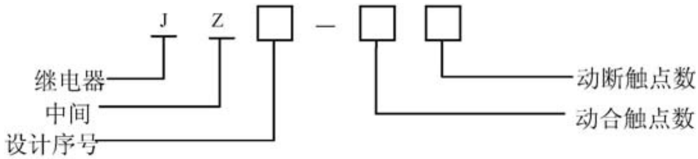
② 改变非磁性垫片厚度。非磁性垫片越厚，衔铁吸合后磁路的气隙和磁阻就越大，释放电流（电压）也就越大，反之越小，而吸引值不变。

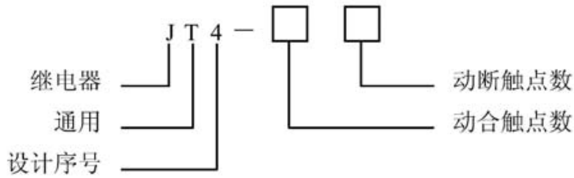
③ 改变初始气隙的大小。在反作用弹簧弹力和非磁性垫片厚度一定时，初始气隙越大，吸引电流（电压）就越大，反之越小，而释放值不变。

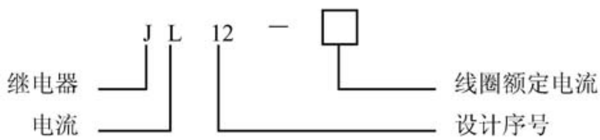
（3）电磁式继电器的型号与参数。电流、电压和中间继电器的主要技术参数与接触器类似，所不同的是动作电压或动作电流、返回系数、动作时间和释放时间等。

常用的电磁式继电器有 JT9，JT10，JL12，JL14，JZ7 等系列。其中，JL14 为交直流电流继电器，JZ7 系列为交流中间继电器。

常用的电磁式继电器型号含义如下：







（4）电磁式继电器的符号，如图 1.46 所示。文字符号含义：电流继电器的为 KI，电压继电器的为 KV，中间继电器的为 KA。

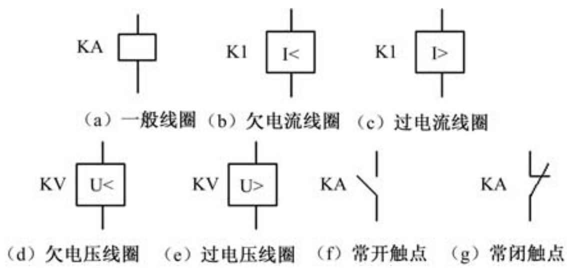


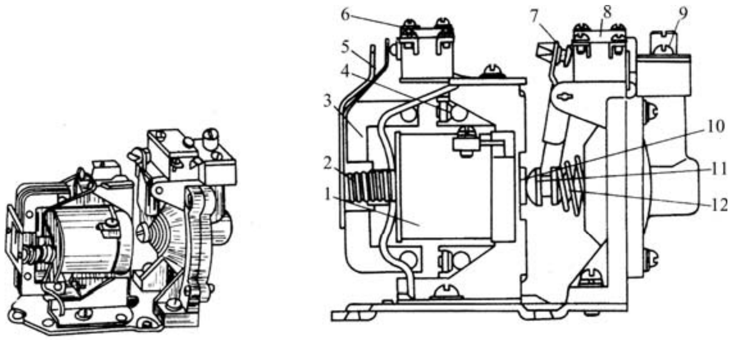
图 1.46　电磁式继电器图形符号及文字符号

（5）电磁式继电器的选用。选用电磁式继电器的主要依据是：被控制或保护对象的特性、触头的种类、数量、控制电路的电压、电流、负载性质等因素，特别是线圈电压、电流应满足控制线路的要求。如果控制电流超过继电器触头额定电流，可将触头并联使用，也可用触头串联使用方法提高触头的分断能力。

2．时间继电器

时间继电器是利用电磁原理或机械原理实现触点延时闭合或延时断开的自动控制电器。常用的种类有电磁式、空气阻尼式、电动式和晶体管式。这里以应用广泛、结构简单、价格低廉及延时范围大的空气阻尼式时间继电器为主介绍。

（1）时间继电器的结构和原理。空气式时间继电器又叫气囊式时间继电器，是利用空气阻尼的原理获得延时的。它由电磁系统、延时机构和触头三部分组成。电磁机构为直动式双 E 型，触头系统是借用 LX5 型微动开关，延时机构采用气囊式阻尼器，外形及结构如图 1.47 所示。



（a）外形图　　（b）结构图

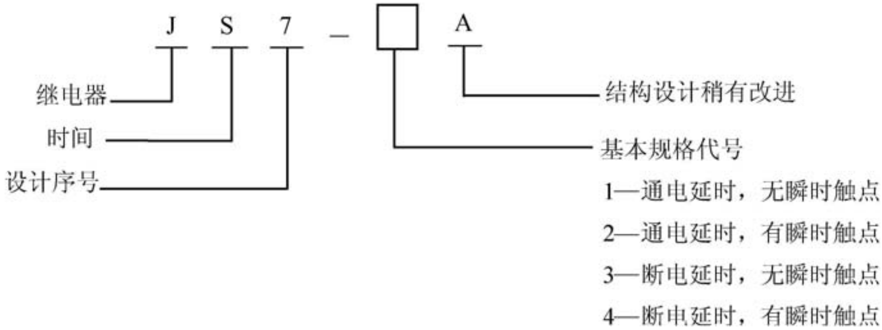
1—线圈；2—反力弹簧；3—衔铁；4—静铁心；5—弹簧片；
6，8—微动开关；7—杠杆；9—调节螺钉；10—推杆；11—活塞杆；12—宝塔弹簧

图 1.47　JST 系列时间继电器

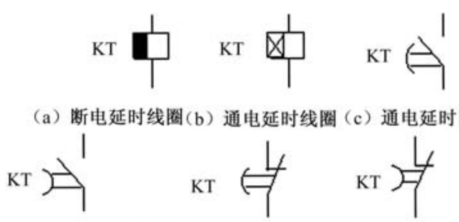
电磁机构可以是交流的也可以是直流的，触点包括瞬时触点和延时触点两种。空气式时间继电器可以做成通电延时，也可以做成断电延时。

（2）时间继电器的型号与技术参数。常用的时间继电器有 JS7，JS23 系列。主要技术参数有瞬时触点数量、延时触点数量、触点额定电压、触点额定电流、线圈电压及延时范围等。

时间继电器型号含义如下：



（3）时间继电器的符号。时间继电器的文字符号为 KT，图形符号如图 1.48 所示。



（a）断电延时线圈（b）通电延时线圈（c）通电延时闭合触头

（d）断电延时断开触头（e）通电延时断开触头（f）断电延时闭合触头

图 1.48　时间继电器的图形符号及文字符号

（4）时间继电器的选用。空气式时间继电器延时范围大、结构简单、寿命长、价格低廉，但延时误差大、无调节刻度指示，难以精确整定延时值，多应用在精度要求较低的场合。选用时应注意：

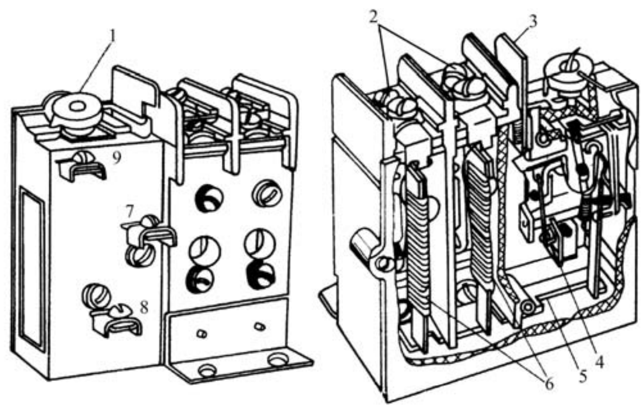
① 根据被控制电路的实际要求选择不同延时方式的继电器（即通电延时、断电延时）；

② 根据被控制电路的电压等级选择电磁线圈电压，使两者相符。

3．热继电器

热继电器是利用电流的热效应原理工作的保护电器，在电路中用于电动机的过载保护。电动机在实际运行中，常遇到过载情况，若过载不大，时间较短，绕组温升不超过允许范围，是可以的。但过载时间较长，绕组温升超过了允许值，将会加剧绕组老化，缩短电动机的使用年限，严重时会烧毁电动机的绕组。因此，凡是长期运行的电动机必须设置过载保护。

（1）热继电器的结构及原理。热继电器种类很多，应用最广泛的是基于双金属片的热继电器，其外形及结构如图 1.49 所示，主要由热元件、双金属片和触头三部分组成。热继电器的常闭触点串联在被保护的二次回路中，它的热元件由电阻值不高的电热丝或电阻片绕成，串联在电动机或其他用电设备的主电路中。靠近热元件的双金属片，是用两种不同膨胀系数的金属用机械辗压而成，为热继电器的感测元件。



（a）外形　　（b）结构图

1—电流整定装置；2—主电路接线柱；3—复位按钮；4—常闭触头；5—动作机构；6—热元件；
7—常闭触头接线柱；8—公共动触头接线柱；9—常开触头接线柱

图 1.49　热继电器的外形及结构图

当电动机正常运行时，热元件产生的热量虽能使双金属片弯曲，但还不足以使继电器动作。当电动机过载时，流过热元件的电流增大，热元件产生的热量增加，使双金属片产生的弯曲位移增大，经过一定时间后，双金属片推动导板使继电器触头动作，切断电动机控制电路。

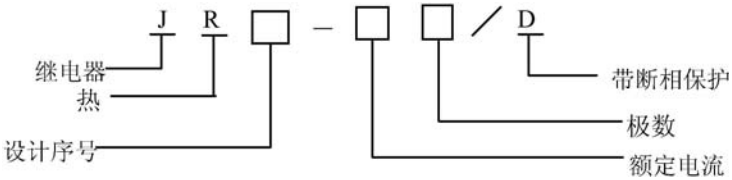
热继电器动作后，一般不能立即自动复位，待电流恢复正常、双金属片复原后，再按复位按钮，才能使常闭触点回到闭合状态。

热继电器在保护形式上分为二相保护和三相保护两类。二相保护式的热继电器内装有两个发热元件，分别串入三相电路中的两相，常用于三相电压和三相负载平衡的电路。对于三相电源严重不平衡或三相负载严重不平衡的场合只能用三相保护式。因三相保护式热继电器内装有三个发热元件，分别串入三相电路中的每一相，其中任意一相过载，都将导致热继电器动作。

（2）热继电器的技术参数及常用型号。热继电器的主要技术参数有：额定电压、额定电流、相数、热元件编号、整定电流及整定电流调节范围等。整定电流是指热元件能够长期

通过而不致于引起热继电器动作的电流值。

常用的热继电器有 JR20，JRS1 及 JR0，JR10，JR15，JR16 等系列，其型号含义如下：



（3）热继电器的符号。热继电器的图形符号及文字符号如图 1.50 所示。

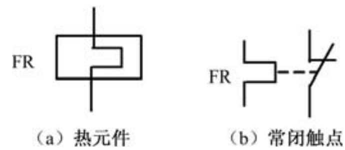


图 1.50　热继电器的图形符号及文字符号

（4）热继电器的选用。

① 结构形式的选择。星形联结的电动机可选用普通二相式或三相保护式热继电器。三角形联结的电动机必须采用带有断相保护装置的热继电器。

② 额定电流的选择。额定电流或热元件整定电流均大于电动机或被保护电路的额定电流。

③ 整定电流的选择。一般情况按下式来选取：

$$I_N=(0.95\sim1.05)\ I_{NM}$$

式中　I_N——热元件的额定电流；

I_{NM}——电动机的额定电流。

对于工作环境恶劣、启动频繁的电动机则按下式选取：

$$I_N=(1.15\sim1.5)\ I_{NM}$$

如一台电动机的额定电流为 14.7A，则可选用 JR0-40 型热继电器，虽其热元件电流 I_R=16A，工作时可将热元件的动作电流整定在 14.7A。注意：对于点动、重载启动、频繁正反转及带反接制动的电动机，一般不用热继电器作过载保护，而是选用过电流继电器或温度继电器等。

4．速度继电器

速度继电器又叫反接制动继电器，主要用于笼型异步电动机的反接制动控制。它主要由转子、定子和触头三部分组成，转子是一个圆柱形永久磁铁，定子是一个笼形空芯圆环，由硅钢片叠成，并装有笼型绕组。

如图 1.51 所示为 JY1 型速度继电器的外形和结构示意图。其转子的轴与被控制电动机的轴连接，而定子空套在转子上。当电动机转动时，速度继电器的转子随之转动，定子内的短路导体便切割磁场，产生感应电动势，从而产生电流；此电流与旋转的转子磁场作用产生转矩，使定子开始转动；当转到一定角度时，装在轴上的摆锤推动簧片动作，使常闭触头分断，常开触头闭合。当电动机转速低于某一值时，定子产生的转矩减小，触头在弹簧作用下复位。

常用的速度继电器有 JY1 和 JFZ0 型。一般速度继电器的动作转速为 120r/min，触头的复位转速在 100r/min 以下，转速在 3 000r/min～3 600r/min 以下能可靠工作。

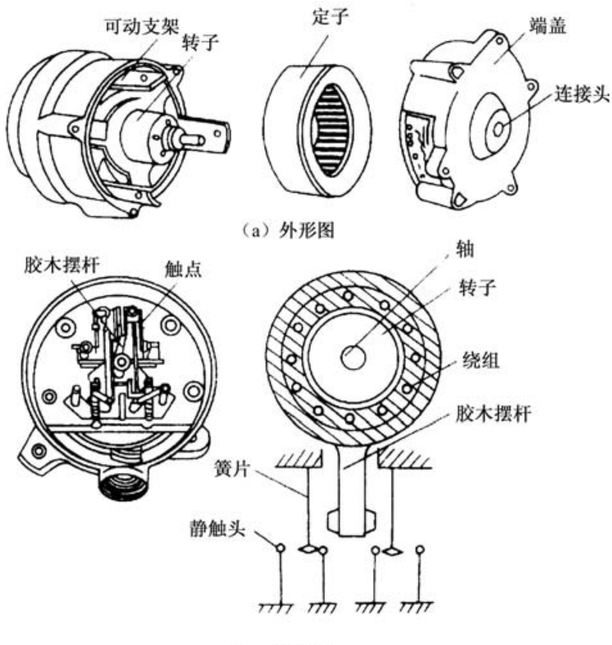


图 1.51 JY1 系列速度继电器

速度继电器的符号如图 1.52 所示。

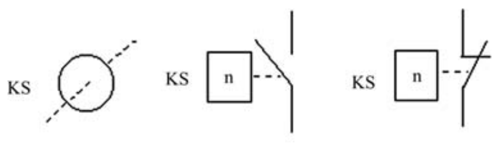


图 1.52 速度继电器的图形符号

1.2.5 熔断器

熔断器是一种最简单有效的保护电器。在使用时，熔断器串接在所保护的电路中，作为电路及用电设备的短路和严重过载保护，主要用于短路保护。

1．熔断器的结构及工作原理

熔断器主要由熔体（俗称保险丝）和安装熔体的熔管（或熔座）两部分组成。熔体由易熔金属材料铅、锡、锌、银、铜及其合金制成，通常做成丝状或片状。熔管是装熔体的外壳，由陶瓷、绝缘钢纸或玻璃纤维制成，在熔体熔断时兼有灭弧作用。

熔断器的熔体与被保护的电路串联，当电路正常工作时，熔体允许通过一定大小的电流而不熔断。当电路发生短路或严重过载时，熔体中流过很大的故障电流，当电流产生的热量达到熔体的熔点时，熔体熔断切断电路，从而实现保护目的。

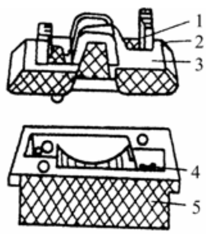
电流通过熔体产生的热量与电流的平方和电流通过的时间成正比。因此，电流越大，则熔体熔断的时间越短，这称为熔断器的反时限保护特性。

2．熔断器的类型

（1）瓷插（插入）式熔断器。瓷插式熔断器的外形如图 1.53 所示。常用产品有 RC1 系列，主要用于交流 380V 以下的线路末端，作为配电系统及电器设备的短路保护；也可用于照明电路保护。

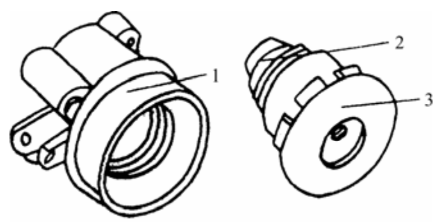
RC1 系列熔断器结构简单，为半封闭型，易更换熔丝，且价格低。但其分断能力低，熔化特性不稳定，不能用于较重要的场合。同时熔丝熔断时有闪光现象，对于尘埃多、易爆的场合禁止使用。

（2）螺旋式熔断器。它主要有 RL1，RL5 系列，用于配电线路终端或控制电路中作短路或过载保护。其结构如图 1.54 所示，由瓷套、瓷帽、熔断管和熔断指示器等组成。熔断管内除装有熔丝外，还填满起灭弧作用的石英砂。熔断管的上盖中心装有熔断指示器，一旦熔丝熔断，指示器即从熔断管上盖脱出，并可从瓷盖上的玻璃窗口中直接发现，以便拆换熔断管。螺旋式熔断器具有熔断快、分断能力强、体积小、结构紧凑、更换熔丝方便、安全可靠和熔断后标志明显等优点。



1—动触刀；2—熔丝；3—瓷盖；4—静触点；5—瓷底座

图 1.53　RC1 瓷插式熔断器



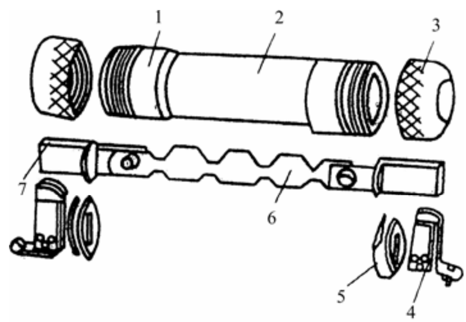
1—底座；2—熔断体；3—瓷帽

图 1.54　螺旋式熔断器

螺旋式熔断器接线时，电源进线必须与熔断器中心触片接线桩相连，与负载的连线应接在与螺口相连的上接线桩上，这样在旋出瓷帽更换熔断管时，金属螺口不带电，利于保护操作人员的安全。

（3）封闭管式熔断器，是一种可拆卸的低压熔断器。当熔体熔断后，用户可自行拆开重装新的熔体，检修比较方便。该种熔断器分为无填料、有填料和快速三种。

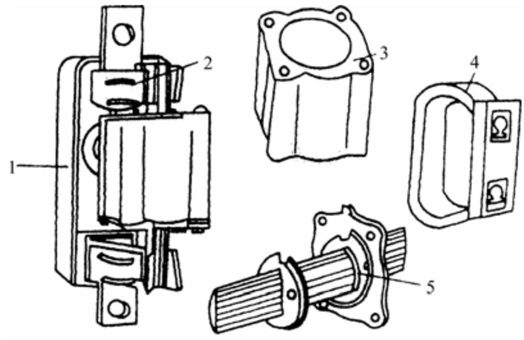
无填料式常用产品有 RM7，RM10 等系列。主要用于低压电力网络、成套配电设备中做短路保护和连续过载保护，它的结构如图 1.55 所示。当有大电流通过熔体时，熔体在狭窄处被熔断，绝缘管在熔体分断产生的电弧高温作用下，分解出大量气体增大管内压力，以加强灭弧。为保证这类熔断器的保护功能，凡是熔体被熔断和拆换三次以后，应更换新熔管。



1—铜圈；2—熔管；3—管帽；
4—插座；5—特殊垫圈；6—熔片；7—触刀

图 1.55　无填料封闭管式熔断器

有填料封闭管式熔断器常用产品有 RT0 系列。用于较大短路电流的电力输配电系统中，其管内装有石英砂，灭弧能力强，断流能力大。它也常配套用于熔断器式隔离开关、开关熔断器等组合电器产品中，外形如图 1.56 所示。



1—瓷底座；2—弹簧片；3—管体；4—绝缘手柄；5—熔体

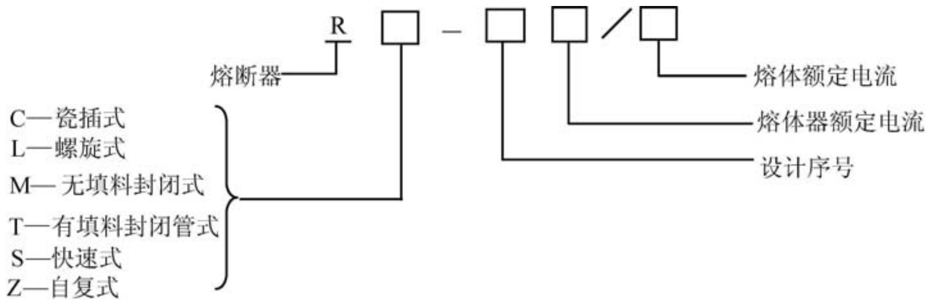
图 1.56　有填料封闭管式熔断器

快速熔断器主要用于半导体功率元件或变流装置的短路保护。由于半导体元件过载能力低，只能在极短时间内承受较大的过载电流，因此要求短路保护具有快速熔断的特性。常用快速熔断器有 RS 和 RLS 系列。

（4）RZ1 型自复式熔断器，是一种新型熔断器，它采用金属钠作为熔体。在常温下，钠的电阻小，允许通过正常工作电流。当电路发生短路时，短路电流产生高温使钠迅速气化，气态钠电阻变得很高，从而限制了短路电流。当故障消除后，温度下降，气态钠又变为固态钠，恢复其良好的导电性。其优点是能重复使用，不必更换熔体；缺点是只能限制故障电流，不能切断故障电流。

3．熔断器的技术参数与型号

熔断器主要技术参数有额定电压、额定电流、熔体额定电流、额定分断能力等。型号含义如下：



4．熔断器的符号

熔断器图形符号及文字符号如图 1.57 所示。

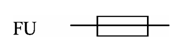


图 1.57　熔断器的图形符号

5．熔断器的选用

（1）类型的选择：熔断器的类型应根据线路要求、使用场合和安装条件选择。

（2）额定电压的选择：额定电压应大于或等于线路的工作电压。

（3）额定电流的选择：额定电流必须大于或等于电路工作电流。

（4）熔体额定电流的选择。

① 阻性负载保护。熔体额定电流等于或稍大于电路的工作电流。

② 电动机的保护。

单台电动机保护：$I_{fv} \geqslant (1.5 \sim 2.5) I_N$

多台电动机保护：$I_{fv} \geqslant (1.5 \sim 2.5) I_{Nmax} + \sum I_N$

式中　I_{fv}——熔体额定电流；

I_{Nmax}——容量最大的电动机的额定电流；

I_N——电动机额定电流；

$\sum I_N$——其他电动机额定电流。

1.2.6　常用电子电器

随着电子技术的日益发展，出现了许多电子电器。它们具有控制精度高、工作稳定可靠、便于实现自动控制、使用寿命长、动作灵敏等优点，因而广泛用于各种生产机械。本节主要介绍接近开关和晶体管式时间继电器。

1．接近开关

电子接近开关为无触点式行程开关，主要采用小功率晶体管和大功率晶闸管半导体器件构成。它由信号发生机构（感测机构）、振荡器、检波器、鉴幅器和输出电路组成，其基本组成方框图如图 1.58 所示。振荡器振荡后，在开关的感应面上产生一个交变磁场，当金属物体接近感应面时，金属体产生涡流，吸收了振荡的能量，使振荡减弱以致停振。振荡与停振两种不同的状态，由整形放大器转换成二进制的开关信号，从而达到检测位置的目的。

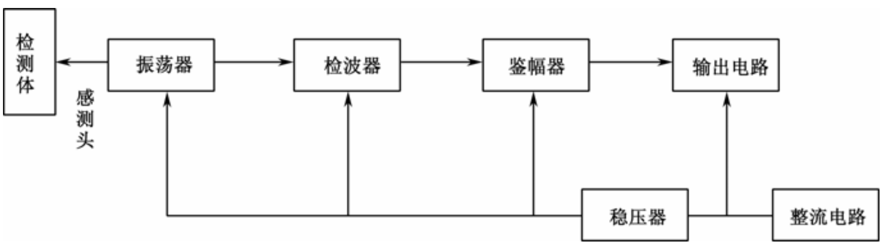


图 1.58　接近开关结构组成

电子开关既可在无接触、无压力的情况下发出检测信号，又具有灵敏度高、频率响应快、重复定位精度高、工作稳定可靠、使用寿命长等优点。

接近开关的图形符号及文字符号如图 1.59 所示。

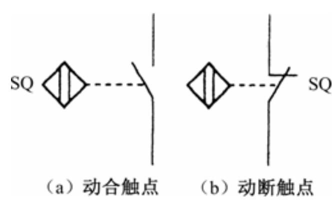


图 1.59　接近开关的图形符号

2．晶体管式时间继电器

晶体管式时间继电器也称为半导体式时间继电器，它具有延时范围广、精度高、体积小、耐冲击和耐振动、调节方便及寿命长等优点，所以发展很快，使用较广泛。

晶体管式时间继电器是利用 RC 电路中电容器充电时，其两端电压逐渐上升的原理作为延时基础的。因此改变充电电路的时间常数（如改变电阻值），即可整定其延时时间。继电器的输出形式有两种：有触点式和无触点式，前者是用晶体管驱动小型电磁式继电器，后者是采用晶体管或晶闸管输出。

晶体管时间继电器常用的产品有 JSJ，JSB，JS14，JS15，JS20 型等。图 1.60 所示为

JSJ 型晶体管时间继电器的电气原理图。

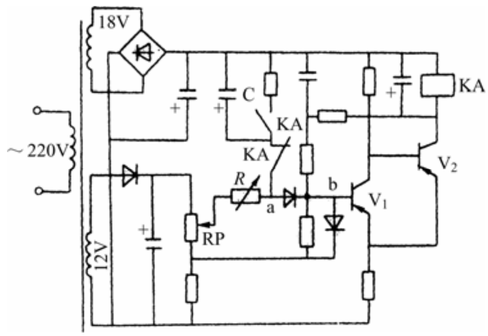


图 1.60　JSJ 型晶体管时间继电器电气原理

图中有两个电源，主电路由变压器二次侧的 18V 电压经整流、滤波而得到；辅助电源由变压器二次侧的 12V 电源经整流、滤波得到。本电路利用 RC 电路电容器充电原理实现延时。

工作原理如下：当电源变压器接通，V_1 管导通，V_2 管截止，继电器 KA 不动作。两个电源分别向电容 C 充电，a 点电位按指数规律上升。当 a 点电位高于 b 点电位时，V_1 管截止，V_2 管导通，V_2 管集电极电流流过 KA 的线圈，KA 触点转换输出信号。图中 KA 的动断触点断开充电电路，动合触点闭合，使电容放电，为下一次做准备。调节电位器 RP 的值，就可改变延时时间长短。此电路延时范围可达到 0.2s～300s。

1.2.7　电磁执行机构

机械设备的电磁执行机构主要包括电磁铁、电磁阀、电磁离合器、电磁抱闸、液压阀等，如起重机械、磁选机械、升降机械、机床等设备的工艺过程就是靠这些元件来完成的。电磁铁、电磁阀已发展成为新的电器产品系列，并已经成为成套设备中的重要元件。

1．电磁铁

电磁铁由励磁线圈、铁心和衔铁三个基本部分构成，衔铁也称为铁心，是牵动主轴或触头支架动作的部分。当励磁线圈通以励磁电流后便产生磁场及电磁力，衔铁被吸合，并带动机械装置完成一定的动作，把电磁能转换为机械能。根据励磁电流的性质，电磁铁分为直流电磁铁和交流电磁铁。直流电磁铁和交流电磁铁具有各自不同的机电特性，因此适用于不同场合。

直流电磁铁具有如下特点：

① 励磁电流的大小仅取决于励磁线圈两端的电压及本身的电阻，而与衔铁的位置无关。因此，一旦机械装置被卡住，励磁电流不会因此而增加，导致线圈烧毁。

② 直流电磁铁的吸力在衔铁启动时最小，而在吸合时最大，吸合后电磁铁容易因励磁电流大而发热。

交流电磁铁具有如下特点：

① 励磁电流与衔铁位置有关，当衔铁处于启动位置时，电流最大；当衔铁吸合后，电流就降到额定值。因此一旦机械装置被卡住而衔铁被吸合时，励磁电流将大大超过额定电流，时间一长，会使线圈烧毁。

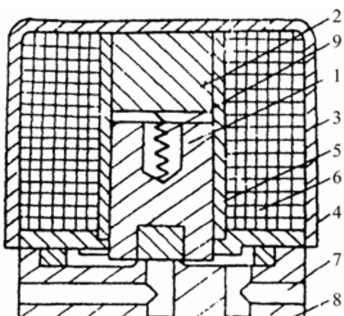
② 吸引与衔铁位置无关，衔铁处于起始位置与处于吸合位置时吸力相同，因此交流电磁铁具有较大的启动初始吸力。

选用电磁铁时，应考虑用电类型（交流或直流）、额定行程、额定吸力及额定电压等技术参数。衔铁在启动时与铁心的距离，即额定行程；衔铁处于额定行程时的吸力，即额定吸力，它必须大于机械装置所需的启动吸力；额定电压（励磁线圈两端的电压）应尽量与机械设备的电控系统所用电压相符。此外，在实际应用中要根据机械设计上的特点，考虑直流电磁铁和交流电磁铁具有的特点，能否满足工艺要求、安全要求等，选择交流或直流电磁铁。

2．电磁阀

电磁阀按电源种类分，有直流电磁阀、交流电磁阀、交直流电磁阀、自锁电磁阀等；按用途分，有控制一般介质（气体、流体）电磁阀、制冷装置用电磁阀、蒸气电磁阀、脉冲电磁阀等；按使用环境分，有一般用、户外用、防爆用电磁阀等。各种电磁阀还可分为二通、三通、四通、五通等规格，还可分为主阀和控制阀等。

如图 1.61 所示为一般控制用螺管电磁阀结构示意图。由图中可见，它由动铁心、静铁心、外壳、压盖、隔磁管、线圈、管路、阀体、反力弹簧等组成。为使介质与磁路的其他部分隔绝，用非磁性材料（如不锈钢）制成隔磁管将动铁心与静铁心包住，并将其下部与压盖管之间不会泄漏。阀门是直通式，用反力弹簧压住动铁心上端，而用动铁心下端装有的氟橡胶塞将阀门进出口密封阻塞。如要接通管道，必须接通线圈电源，产生电磁力，克服反力弹簧的阻力，开启阀门。



1—动铁心；2—静铁心；3—外壳；4—压盖；5—隔磁管；
6—线圈；7—管路；8—阀体；9—反力弹簧

图 1.61　电磁阀结构

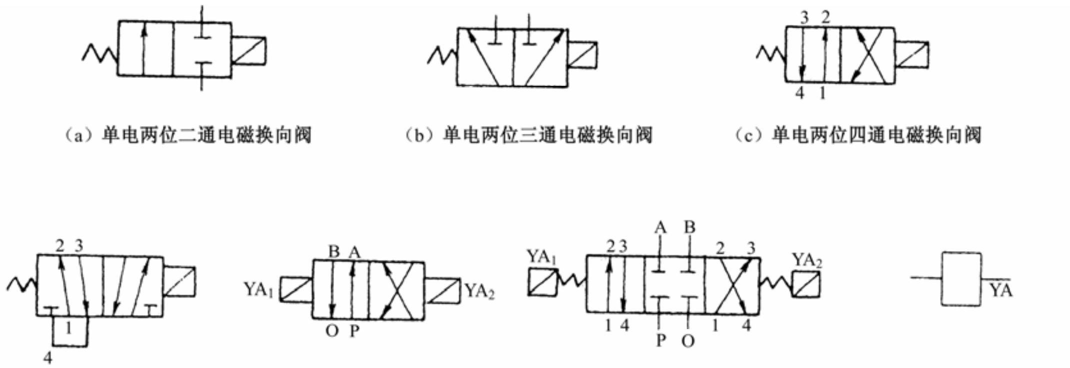
在液压系统中电磁阀用来控制液流方向，阀门开关由电磁铁来操纵。因此，控制电磁铁就是控制电磁阀。电磁阀的结构性能可用它的位置数和通路数来表示，有单电磁铁（称为单电式）和双电磁铁（称为双电式）两种。如图 1.62 所示为电磁阀的图形符号。单电磁铁图形符号中，与电磁铁邻接的方格中表示孔的通向正是电磁铁得电的工作状态，与弹簧邻接的方格中表示的状态是电磁铁失电时的工作状态。双电磁铁图形符号中，与电磁铁邻接的方格中表示孔的通向正是该电磁铁得电时的工作状态。

在图 1.62（d）中，电磁铁得电的工作状态是 1 孔与 3 孔相通，2 孔与 4 孔相通；电磁铁失电时的工作状态，由于弹簧起作用，使阀心处在右边，1 孔与 2 孔通，3 孔与 4 孔通，2

孔还与 4 孔通，即改变了压力油（压缩空气）进入液（气）压缸的方向，实现了换向。

在图 1.62（e）中，与 YA_1 邻接的方格中的工作状态是 P 与 A 通，B 与 O 通，亦即表示电磁线圈 YA_1 得电时的状态。随后如果 YA_1 失电，而 YA_2 又未得电。此时，电磁阀的工作状态仍保留 YA_1 得电时的工作状态没有变化。直至电磁铁 YA_2 得电时，电磁阀才换向，其工作状态为 YA_2 邻接方格所表示的内容，即 P 与 B 通，A 与 O 通。同样，如接着 YA_2 失电，仍保留 YA_2 得电时的工作状态。如果换向，则需 YA_1 得电，才能改变流向。设计控制电路时，不允许电磁铁 YA_1 和 YA_2 同时得电。

在图 1.62（f）中，当电磁铁 YA_1 和 YA_2 都失电时，其工作状态是以中间方格的内容表示，四孔互不相通，同上述的一样，如 YA_1 得电时，阀的工作状态由邻接 YA_1 的方格中所表示内容确定，即 P 与 B 通，A 和 O 通。对三位四（五）通电磁阀，在设计控制电路时，同样不允许电磁铁 YA_1 和 YA_2 同时得电。



（a）单电两位二通电磁换向阀　（b）单电两位三通电磁换向阀　（c）单电两位四通电磁换向阀

（d）单电两位五通电磁换向阀　（e）双电两位四通电磁换向阀　（f）双电三位四通电磁换向阀　（g）电磁阀线圈的图形符号

图 1.62　电磁阀的图形符号

选用电磁阀时应注意：

① 电磁阀的工作机能要符合执行机构的要求，据此确定采用电磁阀的形式（三位或二位，单电或双电，二通或三通，四通，五通等）；

② 电磁阀的孔径是否允许通过额定流量；

③ 电磁阀的工作压力等级；

④ 电磁铁线圈采用交流电或直流电以及电压等级都要与控制电路一致，并应考虑通电持续率。

3．电磁制动器

电磁制动器是应用电磁铁原理使衔铁产生位移的机械运动装置，广泛应用于起重机、卷扬机、碾压机等类型的升降机械设备。

电磁制动器是由制动器、电磁铁或电力液压推动器、摩擦片、制动轮（盘）或闸瓦等组成。如图 1.63 所示为盘式电磁制动器的原理结构图。由图 1.63 可见，盘式电磁制动器在电动机轴端装着一个钢制圆盘，它靠制动钳块与圆盘表面（径向）的离合，实现对电动机的制动和释放。圆盘的直径越大，制动力矩也就越大，可以根据所需的制动力矩选择与之相匹配的圆盘。

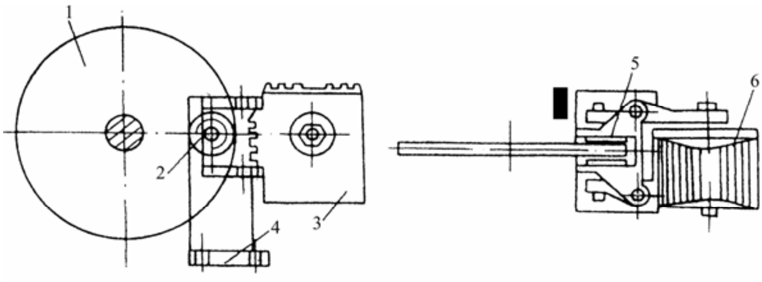


图 1.63　盘式电磁制动器的原理结构图

盘式电磁制动器的供电方式采用桥式整流装置，其电磁系统是在直流状态下工作的，它的工作电流很小，整流装置是与盘式电磁制动器装在一起的，其吸引线圈用环氧树脂密封于壳体内，适宜于在露天或多尘埃等恶劣环境中工作。

1.2.8　常用启动器

启动器是用于电动机启动的控制电器。常用的有磁力启动器和星三角启动器。

1．磁力启动器

磁力启动器是一种全压启动器，又称电磁开关。主要由交流接触器、热继电器和按钮组成，封装在铁皮壳体内。装在壳上的按钮控制着交流接触器线圈回路的通断，并通过交流接触器控制电动机的启动和停止。

磁力启动器分为不可逆和可逆两种。将控制电动机单向运行的电器元件（一个接触器、一个热继电器、两个按钮）封装在一起即为不可逆启动器；控制电动机正反转的相关电器（两个接触器、两个热继电器、三个按钮）封装一起即组成可逆启动器。

磁力启动器的选用与交流接触器基本相同。

2．Y-△启动器

Y-△启动器是电动机降压启动设备之一，适用于定子绕组为三角形联结的笼型电动机的降压启动。它在电动机启动时将绕组联结成星形，使每相绕组从 380V 线电压降低到 220V 相电压，从而减小启动电流。当电动机转速升高接近额定值时，通过手动或自动将其绕组切换成三角形联结，使电动机每相绕组在 380V 线电压下正常运行。

1.3　电器元件故障诊断与维修

各种低压电器元件，在正常状态下使用或运行，都存在自然磨损现象，有一定的机械寿命和电气寿命。若操作不当、过载运行、日常失修等，均会加速电器元件的老化，缩短其使用寿命。

1.3.1　电磁式电器共性故障诊断与维修

一般电磁式电器，通常由触头系统、电磁系统和灭弧装置等组成，而触头系统和电磁机构是电磁式低压电器的共性元件。这部分元件经过长期使用或使用不当，可能会发生故障而

影响电器的正常工作。

1．触头的故障及维修

触头是有触点低压元件的主要部件，它担负着接通和分断电路的作用，也是电器中比较容易损坏的部件。触头的常见故障有触头过热、磨损和熔焊等情况。

（1）触头过热。造成触头发热的主要原因有：触头接触压力不足；触头表面接触不良；触头表面被电弧灼伤烧毛等。以上原因都会使触头接触动电阻增大，使触头过热。

解决方法为：对于由于弹簧失去弹性而引起的触头压力不足，可通过重新调整弹簧或更新弹簧解决；触头表面的油污、积垢或烧毛可用小刀刮去或锉锉去。

（2）触头磨损。触头磨损有两种：一种是电气磨损，由于触头间电弧或电火花的高温使触头金属气化和蒸发所造成；另一种是机械磨损，由于触头闭合时的撞击、触头表面的相对滑动摩擦等造成。

解决方法为：当触头磨损至原有厚度的 2/3（指铜触头）或 3/4（指银或银合金）时，应更换新触头；另外，超行程（指从动、静触头刚接触的位置算起，假想此时移去静触头，动触头所能继续向前移动的距离）不符合规定时，也应更换新触头；若发现磨损过快，应查明原因。

（3）触头熔焊。动、静触头接触面熔化后被焊在一起而不断开的现象，称为触头的熔焊。当触头闭合时，由于撞击和产生振动，在动、静触头间的小间隙中产生短电弧，电弧的高温使触头表面被灼伤甚至烧熔，熔化的金属液便将动、静触头焊在一起。

发生触头熔焊的常见原因：选用不当，触头容量太小；负载电流太大；操作频率过高；触头弹簧损坏，初压力减小。

解决方法为：更换新触头。

2．电磁系统的故障及维修

（1）衔铁振动和噪声。产生振动和噪声的主要原因有：短路环损坏或脱落；衔铁歪斜或铁心端面有锈蚀、尘垢，使动铁心和静铁心接触不良；反作用弹簧压力太大；活动部分机械卡阻而使衔铁不能完全吸合等。

（2）线圈过热或烧毁。线圈中流过的电流过大时，就会使线圈过热甚至烧毁。发生线圈电流过大的原因有以下几个方面：线圈匝间短路；衔铁与铁心闭合后有间隙；操作频繁，超过了允许操作频率；外加电压高于线圈额定电压等。

（3）衔铁不释放。当线圈断电后，衔铁不释放，应立即断开电源开关，以免发生意外事故。

衔铁不释放的原因主要有：触头熔焊在一起，铁心剩磁太大，反作用弹簧弹力不足，活动部分机械上被卡住，铁心端面有油污等。

（4）衔铁不能吸合。当交流线圈接通电源后，衔铁不能吸合时，应立即切断电源，以免线圈被烧毁。

衔铁不能吸合的原因有：线圈引出线脱落、断开或烧毁；电源电压过低；活动部分被卡住。

1.3.2　常用电器故障诊断与维修

1．刀开关的运行维修

当刀开关出现故障时，主要检查以下几个方面：

① 负荷电流是否超过刀开关的额定值；

② 刀开关是否有动、静触头连接不实及动静触片闭合不够或开关合闸不到位的故障；

③ 刀开关电源侧和负荷侧进出线端子与开关连接处是否压接牢固，有无接触不实、过热变色等现象；

④ 动、静触头有无烧伤及缺损，灭弧罩是否清洁完整；

⑤ 刀开关三相闸刀在分合闸时，是否同时接触或分开，触头接触是否紧密；

⑥ 操作机构是否完好，动作是否灵活，分、合闸位置是否准确到位等。

刀开关的常见故障及维修如表 1.6 所示。

表 1.6　刀开关常见故障

序号	故 障 现 象	故 障 原 因	维 修 方 法
1	开关触头过热或熔焊	① 刀片、刀座烧毛 ② 速断弹簧压力不当 ③ 刀片、刀座表面氧化 ④ 刀片动静触头插入深度不够 ⑤ 带负荷启动大容量设备，大电流冲击 ⑥ 有短路电流	① 修磨动、静触头 ② 调整防松螺母 ③ 清除表面氧化层 ④ 调整操作机构 ⑤ 避免违章操作 ⑥ 排除短路点，更换大容量开关
2	开关与导线接触部位过热	① 连接螺丝松动，弹簧垫圈失效 ② 螺栓过小 ③ 过渡接线因金属不同而发生电化学锈蚀	① 紧固螺丝，更换垫圈 ② 更换螺栓 ③ 采用铜铝过渡线
3	开关合闸后缺相	① 静触头弹性消失或开口过大，闸刀与夹座未接触 ② 熔丝熔断或虚接触 ③ 触头表面氧化或有尘污 ④ 进出线氧化，造成接线柱接触不良	① 修整静触头 ② 更换熔丝，拧紧连接熔丝的螺丝 ③ 清除触头表面氧化物 ④ 清除氧化层
4	铁壳开关操作手柄带电	① 电源进出线绝缘不良 ② 碰壳和开关地线接触不良	① 更换导线 ② 紧固接地线

2．组合开关的常见故障与维修

组合开关常见故障原因有：

① 由于开关固定螺丝松动，旋转操作频繁，引起导线压接松动，造成外部连接点放电、打火、烧蚀或断路；

② 开关内部的转轴上扭簧松软或断裂，使开关动触片无法转动，改变接点位置；

③ 开关内部的动、静触片接触不良，或开关额定电流小于负荷回路电流，造成内部接

点起弧烧蚀。

针对以上现象应对“症”排除，必要时将开关解体检修或更换新开关。

3. 自动开关的故障诊断及维修

自动空气开关是一种比较复杂的低压电器，它集控制、保护于一身，除正常选用外，尚需妥善维修。

（1）巡视检查，内容如下：

① 检查所带的正常最大负荷是否超过自动开关的额定值；

② 检查触头系统和导线连接点处有无过热现象，特别对有热元件保护装置的，更应注意；

③ 检查分合闸状态是否与辅助触头所串接的信号指示灯相符合；

④ 监听自动开关在运行中有无异常声响；

⑤ 检查传动机构及相间绝缘、主轴的工作状态，看前者有无变形、锈蚀、销钉松脱现象，后者有无裂痕、表层剥落和放电现象；

⑥ 检查脱扣器工作状态，如整定值指示位置是否与被保护负荷相符，电磁铁表面及间隙是否清洁，弹簧的外观有无锈蚀、线圈有无过热及异常声响等；

⑦ 检查灭弧罩的工作位置是否因受震动而移动，外观是否完整，有无喷弧痕迹和受潮情况；

⑧ 遇有灭弧罩损坏，不论多相还是一相，均应停止使用；

⑨ 如发生长时间的负荷变动，需要相应调节过电流脱扣器的整定值，必要时应更换设备或附件；

⑩ 自动开关因发生短路故障而掉闸或遇有喷弧现象时，除排除故障外，还应对开关解体检修，重点是触头系统和灭弧罩。

（2）除上述巡视检查外，还应对自动开关定期维护及检修，内容如下：

① 取下灭弧罩，检查灭弧栅片的完整性，清除表面的烟痕和金属细末，保持外壳完整无损；

② 检查触头表面，清除烟痕，用细锉或细纱布打平接触面，并需保持触头原有形状，如果触头的银钨合金表面烧伤超过 1mm 时应更换新触头；

③ 检查触头的压力，有无因过热而失效，调节三相触头的位置和压力，使其保持三相同时闭合，并保证接触面积完整，接触压力一致；

④ 用手动缓慢分、合闸，检查辅助触头的常闭、常开触点的工作状态是否合乎要求，并检查辅助触头的表面是否损坏；

⑤ 检查脱扣器的衔铁和拉簧活动是否正常，动作应无卡阻，磁铁工作极表面应清洁平滑，无锈蚀、毛刺和污垢。热元件的各部位有无损坏，其间隙是否正常；

⑥ 机构各个摩擦部件应定期涂润滑油。

全部检修完毕后，应做几次传动实验，检查是否正常，特别对于两个开关之间的电气联锁系统，要确保动作无误。

自动开关的常见故障如表 1.7 所示。

表 1.7　自动空气开关的常见故障

序号	故障现象	故障原因	维修方法
1	触头不能闭合	① 失压脱扣器无电压或线圈损坏 ② 储能弹簧变形 ③ 反作用弹簧过大 ④ 机构不能复位再扣	① 检查施压线圈或更换线圈 ② 更换储能弹簧 ③ 重新调整 ④ 调整再扣接触面到规定值
2	自由脱扣器不能使开关分断	① 反力弹簧变小 ② 储能弹簧弹力变小 ③ 机构卡阻	① 调整或更换反力弹簧 ② 调整或更换储能弹簧 ③ 消除卡阻因素
3	失压脱扣器不能使开关分断	① 线圈短路 ② 电源电压太低 ③ 再扣接触面太大 ④ 螺丝松动	① 更换线圈 ② 检查电源电压真实性低的原因 ③ 重新调整 ④ 拧紧螺丝
4	失压脱扣器噪音	① 反弹簧力太大 ② 铁心工作面有油污 ③ 短路环损坏	① 调整弹簧力 ② 消除油污 ③ 更换短路环、衔铁或铁心
5	带负荷启动时开关立即分断	过电流脱扣器瞬动整定值太小	重新调整或更换
6	带负载一定时间后自行分断	① 过电流脱扣器长延时整定值不对 ② 热元件整定值不对	重新调整或更换
7	开关温度过高	① 触头压力过小 ② 触头表面过分磨损或接触不良 ③ 两个导电零件连接螺丝松动	① 调整或更换压力弹簧 ② 更换触头或修整接触面 ③ 重新拧紧

4．漏电保护器的常见故障与维修

漏电保护器的巡视、检查与维护同自动开关，常见故障如表 1.8 所示。

表 1.8　漏电保护器的常见故障

序号	故障现象	故障原因	维修方法
1	装有总漏电保护开关，但生产岗位触电时不能跳闸	无二级保护，生产岗位触电，触电电流来不及反应到总漏电保护器上	采用两级保护
2	外壳带电，漏电保护器不跳闸，人触及外壳后才动作跳闸	无保护地线（或保护零线），虽外壳带电，但不构成回路。只有人触及外壳时，才形成回路	同时安装保护零线和保护地线
3	三（四）极漏电保护开关在用电设备漏电情况下不能跳闸	接线错误	采用正确接线，如图 1.64 所示
4	四极漏电保护器合不上闸	① 负荷侧线路陈旧破损，对墙壁漏电 ② 负荷侧用电设备绝缘不良 ③ 接线错误，如图 1.65 所示	① 排除漏电点，更换新导线 ② 检测用电设备绝缘性能 ③ 采用正确接线，如图 1.64 所示

注：严格区分漏电保护器的中性线和保护地线。中性线不得重复接地。

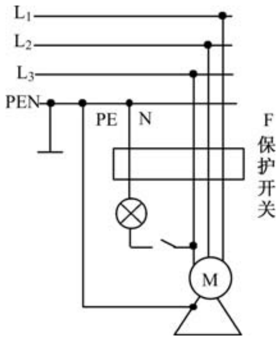


图 1.64 三（四）极漏电保护器接线图

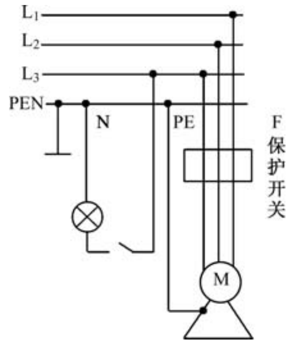


图 1.65 漏电保护器的错误接线图

5．按钮的常见故障与维修

按钮是一种以短时接通或分断小电流电路的电器，它不直接去控制主电路的通断，而在控制电路中发出“指令”，去控制接触器、继电器等电器，再由它们去控制主电路。其常见故障如表 1.9 所示。

表 1.9 按钮的常见故障

序号	故障现象	故障原因	维修方法
1	按启动按钮时有麻电感觉	① 按钮帽的缝隙钻进了金属粉末或铁屑等 ② 按钮防护金属外壳接触了带电导线	① 清扫按钮，给按钮罩一层塑料薄膜 ② 检查按钮内部接线，消除碰壳
2	按停止按钮不能断开电路	① 按钮非正常短路所致 ② 铁屑、金属末或油污短接了动断触头 ③ 按钮盒胶木烧焦炭化	① 清扫触头 ② 更换按钮
3	按停止按钮后，再按启动按钮，被控制电器不动作	① 停止按扭的复位弹簧损坏 ② 启动按钮动合触头氧化、接触不良	① 调换复位弹簧 ② 清扫、打磨动静触头

6．行程开关的常见故障与维修

行程开关是利用生产机械某些运动部件上的挡铁碰撞其滚轮（或触柱），使触头动作来实现接通或分断电路的目的。其常见故障如表 1.10 所示。

表 1.10 行程开关的常见故障

序号	故障现象	故障原因	维修方法
1	撞铁碰撞行程开关，设备运行不受控制	① 触头接触不良 ② 行程开关、撞块安装位置不当或行程开关、撞块发生移位 ③ 触头连接线松脱	① 检查触头，维护良好的接触 ② 调整行程开关或撞块的位置 ③ 紧固螺钉
2	行程开关复位后，动断触头不闭合	① 动断触头复位弹簧弹力减退或被套杂物卡住 ② 动断触头偏斜或被杂物卡住 ③ 动触头脱落	① 更换弹簧或去除杂物 ② 拨正触头或去除杂物 ③ 重新装配
3	杠杆已偏转，但触头不动作	① 行程开关安装位置太低 ② 行程开关内机械卡阻	① 提高安装位置 ② 重新装配调整，消除卡阻

7．接触器的故障诊断与维修

接触器使用寿命的长短，不仅取决于产品本身的技术性能，而且与使用维护是否符合要求有很大关系。运行部门应制定有关制度，对运行中的接触器进行定期保养，以延长使用寿命和确保安全。

接触器检查与维修项目有以下几项。

① 外观检查。看接触器外观是否完整无损，固定是否松动。

② 灭弧罩检查。取下灭弧罩仔细查看有无破裂或严重烧损；灭弧罩内的栅片有无变形或松脱，栅孔或缝隙是否堵塞；清除灭弧室内的金属飞溅物和颗粒。

③ 触头检查。清除触头表面上烧毛的颗粒；检查触头磨损的程度，严重时应更换。

④ 铁心的检查。铁心端面要定期擦拭，清除油垢保持清洁；检查铁心有无变形。

⑤ 线圈的检查。观察线圈外表是否因过热而变色，接线是否松脱，线圈骨架是否破碎。

⑥ 活动部件的检查。检查可动部件是否卡阻，坚固体是否松脱，缓冲件是否完整等。

交流接触器的触头、电磁系统的故障及维修与前述的情况基本相同。除此之外，常见故障如表 1.11 所示。

表 1.11　交流接触器的常见故障

序号	故障现象	故障原因	维修方法
1	触头熔焊	① 操作频率过高或选用不当 ② 负载侧短路 ③ 触头弹簧压力过小 ④ 触头表面有金属颗粒突起或异物 ⑤ 吸合过程中触头停滞在似接触非接触的位置上	① 降低操作频率或更换合适型号 ② 排除短路故障、更换触头 ③ 调整触头弹簧压力 ④ 清理触头表面 ⑤ 消除停滞因素
2	触头断相	① 触头烧缺 ② 压力弹簧失效 ③ 联接螺丝松脱	① 更换触头 ② 更换压力弹簧片 ③ 拧紧松脱螺丝
3	相间短路	① 可逆转换接触器联锁失灵或误动作致使两台接触器投入运行而造成相间短路 ② 接触器正反转转换时间短而燃弧时间又长，换接过程中发生弧光短路 ③ 尘埃堆积、潮湿、过热使绝缘损坏 ④ 绝缘件或灭弧室损坏或破碎	① 检查联锁保护 ② 在控制电器中加中间环节或更换动作时间长的接触器 ③ 缩短维护周期 ④ 更换损坏件
4	线圈损坏	① 空气潮湿，含有腐蚀性气体 ② 机械方面碰坏 ③ 严重振动	① 换用特种绝缘漆线圈 ② 对碰坏处进行修复 ③ 消除或减小振动
5	启动动作缓慢	① 极面间间隙过大 ② 电器的底板不平 ③ 机械可动部分稍有卡阻	① 减小间隙 ② 装直电器 ③ 检查机械可动部分
6	短路环断裂	由于电压过高，线圈用错，弹簧断裂，以致磁铁作用时撞击过猛	检查并调换零件

8．热继电器的故障诊断及维修

热继电器的检查与维修内容如下：

① 检查负荷电流是否和热元件的额定值相配合；

② 检查热继电器与外部连接点有无过热现象；

③ 检查与热继电器连接的导线截面是否满足要求，有无因发热而影响热元件正常工作的现象；

④ 检查继电器的运行环境温度有无变化，温度有无超过允许范围（−30℃～40℃）；

⑤ 检查热继电器动作情况是否正确；

⑥ 检查热继电器周围环境温度与被保护设备周围环境温度差值，若超出±15℃～25℃时，应调换大一号等级热元件（或小一号等级的热元件）。

热继电器的常见故障有热元件烧环、误动作和不动作。具体原因及维修如表 1.12 所示。

表 1.12　热继电器常见故障

序号	故 障 现 象	故 障 原 因	处 理 方 法
1	误动作	① 整定值偏小 ② 电动机启动时间过长 ③ 反复短时工作，操作次数过高 ④ 强烈的冲击振动 ⑤ 连接导线太细	① 合理调定整定值 ② 从线路上采取措施，启动过程使热继电器短接 ③ 调换合适的热继电器 ④ 调换导线
2	不动作	① 整定值偏大 ② 触点接触不良 ③ 热元件烧断或脱掉 ④ 运动部分卡阻 ⑤ 导板脱出 ⑥ 连接导线太粗	① 调整整定值 ② 清理触点表面 ③ 更换热元件或补焊 ④ 排除卡阻，但不随意调整 ⑤ 检查导板 ⑥ 调换导线
3	热元件烧断	① 负载侧短路，电流过大 ② 反复短时工作，操作次数过高 ③ 机械故障	① 排除短路故障及更换热元件 ② 调换热继电器 ③ 排除机械故障及更换热元件

9．时间继电器的故障诊断及维修

机床电气自动控制中常用的时间继电器多为空气式时间继电器，它的电磁系统和触头的故障及维修同前面所述。另外主要是空气室所造成延时不准确的故障。

空气室如果经过拆卸后再重新装配时，密封不严或者漏气，就会使动作延时缩短，甚至不产生延时。另外，如果在拆卸过程中或因其他原因，有灰尘进入空气通道中，使空气通道受到阻塞，时间继电器的延时就会延长。出现这种故障时，可拆开空气室，清除灰尘，故障即可排除。

长期不用的时间继电器，第一次使用时延时可能长一些；环境温度发生变化时，对延时的长短也有影响。

10．熔断器的故障诊断与维修

① 检查负荷情况是否与熔体的额定值相配合。
② 检查熔体管外观有无破损、变形现象，瓷绝缘部分有无破损或放电现象。
③ 熔体发生氧化、腐蚀或损伤时，应及时更换。
④ 检查熔体管接触处有无过热现象。
⑤ 有熔断信号指示器的熔断器，其指示是否正常。
⑥ 熔断器环境温度应与被保护对象的环境温度基本一致。若相差过大可能使保护动作产生误差。

注意

一般熔体在小截面处熔断且熔断部位较短是因过负荷引起；而大截面部位被熔化无遗、熔丝爆熔或熔断部位很长，一般为短路引起。

熔断器的常见故障及维修如表 1.13 所示。

表 1.13　熔断器的常见故障

序号	故 障 现 象	故 障 原 因	维 修 方 法
1	误熔断	① 动静触头（RC1 型）、触片与插座（RM1 型）、熔体与底座（RL1 型）接触不良，使接触部位过热 ② 熔体氧化腐蚀或安装时有机械损伤，使熔体截面变小，电阻增加 ③ 熔断器周围介质温度与被保护对象介质温度相差太大	① 整修动、静接触部位 ② 更换熔体 ③ 加强通风
2	管体（瓷插座）烧损、爆裂	熔管里的填料洒落或瓷插座的隔热物（石棉垫）丢掉	安装时要认真细心，更换熔管
3	熔体未熔但电路不通	熔体两端接触不良	坚固接触面

【内容检核】

（1）常用电工工具的识别与使用：掌握测电笔、钢丝钳、扳手、电工刀等的使用方法。

（2）常用导线的连接：掌握电线绝缘层的剖削、导线的连接、导线绝缘的恢复等方法。

（3）常用仪表的测量与维护：万用表测交、直流电压，测交、直流电流，测电阻等；钳形电流表测交流电流；摇表测绝缘电阻。

（4）电气识图：绘制框图；电路图的绘图规则和方法，接线图常用规则和绘图方法及电气读图的一般步骤。

（5）常用开关电器、主令电器、接触器和继电器的用途、基本结构、工作原理及其主要参数、型号与图形符号。

（6）要会根据使用条件正确选用电器。各类电器元件的技术参数是选用的主要原则，可以在产品说明书及电工手册中查阅。

（7）根据保护要求、控制要求正确选用保护电器（如自动开关、热继电器、熔断器等）及控制电器（接触器、继电器等）的类型，并且视被保护、控制电路的具体条件，进行必要的调整，整定动作值，电磁式电器可以通过调节空气气隙（释放时的最大空气隙及吸合

时的剩余空气隙）和反作用弹簧来实现。

（8）掌握电器的发展动向。了解晶体管式继电器、接近开关及其他各种电子电器的应用。



思考与练习

1．常用电工工具有哪些？简述其各自的使用方法。

2．怎样剖削塑料硬线、塑料软线、塑料护套线、橡皮线、花线和铅包线的绝缘层？

3．简述单股铜芯线、多股铜芯线直接连接和 T 型连接的工艺过程。

4．如何进行铝芯线头的压接？

5．在 380V 和 220V 的线路上，对导线绝缘的恢复各有什么要求？

6．用万用表测电压、电流、电阻时各应注意哪些问题？为什么？

7．钳形电流表使用时应注意哪些问题？

8．说明摇表的测量方法及注意事项。

9．常用电工用图有哪几种？各反映了哪些内容？

10．简述电工识图的基本步骤。

11．什么是电器？什么是低压电器？按在电气线路中的地位和作用可分为哪两大类？

12．在使用和安装 HK 系列刀开关时，应注意些什么问题？

13．简述自动开关的工作原理及选用原则。

14．简述组合开关、行程开关、按钮的用途及选用。

15．交流接触器主要由几部分组成？它们各自的特点及作用是什么？

16．什么是电弧？有哪些危害？

17．简述接触器的选用原则。

18．交流接触器在运行中噪声很大的原因是什么？

19．直流接触器与交流接触器在结构上有哪些主要区别？

20．什么是继电器？一般来说主要由哪三大部分组成？各部分的职能是什么？

21．中间继电器的主要用途是什么？与交流接触器相比有何异同之处？在什么情况下可用中间继电器代替接触器启动电动机？

22．电压线圈和电流线圈在结构上有哪些区别？能否互相替代？为什么？

23．空气式时间继电器主要由哪些部分组成？试述其延时原理。

24．简述热继电器的主要结构和工作原理。二相保护式和三相保护式各在什么情况下使用？为什么热继电器不能对电路进行短路保护？

25．熔断器的主要作用是什么？常用类型有哪些？为什么熔断器不能做过载保护？

26．电动机的启动电流很大，当电动机启动时，热继电器是否会动作？为什么？

27．接触器的常见故障有哪些？如何检修？

28．电动机过载后热继电器仍不动作的故障原因是什么？

29．某机床的主轴电动机为 Y132S-4 型，功率 5.5kW、电压 380V、电流 11.6A、三角形接法；另有一台冷却泵电动机为 JB25A 型，功率 0.12kW，电压 380V、Y 接法。要求主轴电动机用按钮接触器控制、有短路保护；冷却泵电动机因容量小，用转换开关直接控制，也有短路和过载保护。根据上述条件和要求，

试选择该机床配套有关电器型号和规格：

① 机床外电源开关；② 机床内电源开关；③ 机床总熔断器；④ 主轴电动机用交流接触器；⑤ 主轴电动机用热继电器；⑥ 冷却泵电动机用控制开关；⑦ 冷却泵电动机用热继电器；⑧ 冷却泵电动机用熔断器。

技能训练 1.1　常用电工工具的识别和使用

【训练要求】

① 会识别常用电工工具。

② 会正确的使用电工工具。

【训练工具】

测电笔、一字形螺丝刀、十字形螺丝刀、钢丝钳、尖嘴钳、电工刀、扳手及各种型号螺钉、各种型号导线等。

【训练步骤】

① 识别常用电工工具，并将识别情况记录于表 1.14 中。

表 1.14　常用电工工具识别情况记录

工具类别	工具名称	型号规格	基本结构	主要用途	用法简述
通用工具					

注：可根据具体情况，适当增加部分电工工具的使用训练。

② 由教师示范各种常用工具的正确使用方法。

③ 由学生分组练习使用各种常用工具。

技能训练 1.2　常用导线的连接

【训练要求】

① 会剖削常用导线的绝缘层。

② 会常用的导线连接方法。

③ 会恢复导线的绝缘层。

【训练工具】

钢丝钳、电工刀、护套线、橡皮线、花线、铅包线、7 股铜芯胶线、ϕ1mm 的漆包线等。

【训练步骤】

① 导线绝缘层剖削训练。剖削导线绝缘层，并将有关数据记录于表 1.15 中。

表 1.15 导线绝缘层的剖削记录

导 线 种 类	导 线 规 格	剖 削 长 度	剖削工艺要点
塑料硬线			
塑料软线			
塑料护套线			
橡皮线			
花线			
铅包线			
漆包线			

② 导线连接训练。将常用导线进行连接，并将情况记入表 1.16 中。

表 1.16 常用导线的连接记录

导 线 种 类	导 线 规 格	连 接 方 式	线 头 长 度	绞 合 圈 数	密 缠 长 度	连接工艺要点
单股芯线		直接连接				
		T 形连接				
7 股芯线		直接连接				
		T 形连接				
漆包线		直接连接				

③ 导线绝缘层的恢复。用符合要求的绝缘材料包缠导线，并将包缠情况记录于表 1.17 中。

表 1.17 导线绝缘层的包缠记录

线路工作电压	所用绝缘材料	各自包缠层数	包缠工艺要点
380V			
220V			

技能训练 1.3 常用电工仪表的使用

【训练要求】

会 MF-47 型万用表的使用和标度尺的读法，了解该型号万用表的内部结构。

【训练工具】

MF-47 型万用表一块，电池，一字和十字小螺丝刀各一把。

【训练步骤】

① 如图 1.66 所示，若将表头指针指示在位置 a 处，请按表 1.18 中转换开关选定的测量项目和量程，将读数（带单位）填入表中。

表 1.18　万用表表头读数练习一

测量项目和量程	R×1	1kV~	10V	100μA	2.5mA	R×100	25V~
读取数据（带单位）							

测量项目和量程（自选）							
读取数据（带单位）							

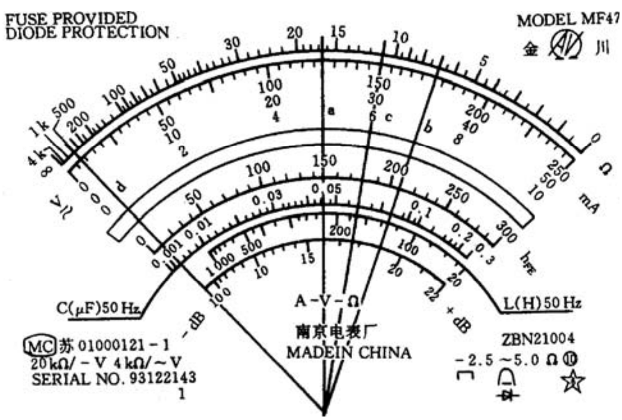


图 1.66　万用表读数和转换开关练习图

② 若表头指针指在图 1.66 的 b 处，表 1.19 为已读取的数据。问转换开关应拨在哪个测量项目和量程？将结果填入表中。

表 1.19　万用表表头读数练习二

已读取数据	7.3V~	1.76mA	35.1V	4.22kΩ	1.76A	422Ω
转换开关的选择						

③ 若表头指针指在图 1.66 的 c 处，根据表 1.19 中转换开关选定的测量项目和量程，将读取的数据填入表 1.20 中，如果量程选择的不合适，试找出其中的原因。

表 1.20　万用表表头读数练习三

已读取数据						
转换开关的选择						

④ 表头指针在图 1.66 的 d 处，根据表 1.21 中转换开关选定的项目和量程，将读取的数据（带单位）填入表中。若量程选择不当，重选合适的量程填入表中下一栏。

表 1.21　万用表表头读数练习四

测量项目和量程	250V~	25mA	1kV	R×100	250V	R×1
已读取数据（带单位）						
合适量程						

⑤ 万用表结构的初步认识：熟悉万用表的面板结构，弄清各部分的名称和作用；拆开万用表的后盖，检查并取装表内电池，应特别注意电池极性不得装错。观察万用表内部结构，绘制转换开关结构示意图和平面展开图，然后将万用表后盖装好。

技能训练 1.4　电阻的测量

【训练要求】

能较为熟悉地运用万用表测量电阻。

【训练工具】

电烙铁、烙铁架、指针式万用表、数字式万用表，如图 1.67 所示的电阻和 68kΩ、6.8kΩ、68Ω的电阻各一只，焊剂若干。

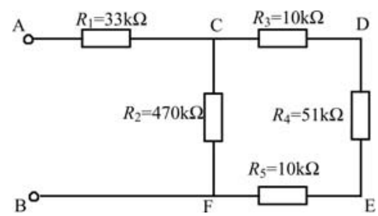


图 1.67　电阻的测量用图

【训练步骤】

① 分别测量将要焊接成如图 1.67 所示电路的各个电阻的阻值，将数据记录在表 1.22 中，注意分析不同测量工具造成的误差情况。

表 1.22　电阻的测量（一）

表的类型	测量内容	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5
指针式万用表	量程					
	读数					
	误差					
数字式万用表	量程					
	读数					
	误差					

注：误差为测量值与实际值之差。

② 按图 1.67 焊接好电路后，再测量图中各点间的电阻值和计算数据记录在表 1.23 中，注意分析不同测量工具造成的误差情况。

表 1.23　电阻的测量（二）

表的类型	测量内容	R_{AB}	R_{AC}	R_{CD}	R_{DE}	R_{EB}	R_{CB}	R_{CE}	R_{DB}	R_{AD}	R_{AE}
	计算值										
指针式万用表	量程										
	读数										
	误差										
数字式万用表	量程										
	读数										
	误差										

注：误差为测量值与计算值之差。

③ 分别用正确手法和错误手法（手同时接触被测电阻两端）测量 68kΩ、6.8kΩ、68Ω 三只电阻的阻值，将测量数据记录在表 1.24 中。并分析错误手法与测量误差的关系。

表 1.24　电阻的测量（三）

表 的 类 型	测 量 内 容		68kΩ	6.8kΩ	68Ω
指针式万用表	量程				
	正确手法读数				
	错误手法读数				
	误差	正确手法			
		错误手法			
数字式万用表	量程				
	正确手法读数				
	错误手法读数				
	误差	正确手法			
		错误手法			

注：误差为测量值与实际值之差。

用错误的手法造成的误差分析：____

____。

技能训练 1.5　摇表、钳形电流表的使用

【训练要求】

① 会用摇表测量绝缘电阻。

② 会用钳形电流表测量线中电流。

【训练工具】

三相鼠笼型异步电动机、摇表、钳形电流表、钢丝钳、螺丝刀、手锤。

【训练步骤】

① 将一台三相鼠笼型异步电动机接线盒拆开，取下所有接线桩之间的连接片，使三相绕组各自独立。用摇表测量三相绕组 U，V，W 之间、三相绕组与机座之间的绝缘电阻，将测量结果记录在表 1.25 中。

表 1.25　电动机绕组绝缘电阻的测量

电动机额定值				摇　　表		绝缘电阻（MΩ）					
功率（kW）	电流（A）	电压（V）	接法	型号	规格	U-V 之间	U-W 之间	V-W 之间	U 相对地	V 相对地	W 相对地

② 按电动机铭牌规定，恢复有关接线桩之间的连接片，使三相绕组按出厂要求连接，并将其接入三相交流电路，令其通电运行。用钳形电流表检测其启动电流和转速达额定值后的空载电流，并将结果记录于表 1.26 中。

表 1.26　电动机启动电流和空载电流的测量（单位 A）

钳形电流表		启 动 电 流		空 载 电 流		导线在钳口绕两匝后的空载电流		缺相运行电流			
型号	规格	量程	读数	量程	读数	量程	读数	量程	读数		
									U	V	W

③ 在电动机空载运行时，人为断开一相电源，如取下某一相熔断器，用钳形电流表检测缺相运行电流（检测时间尽量短）。测量完毕立即关断电源，并将测量结果记录于表 1.26 中。

技能训练 1.6　常用开关类电器的拆装技能训练

【训练要求】

熟悉常用开关类电器的基本结构，并能拆卸、组装和进行简单检测。

【训练工具】

尖嘴钳、螺丝刀、活络扳手，万用表、兆欧表，胶盖刀开关、自动开关等。

【训练步骤】

① 拆开胶盖刀开关的胶盖，将其内部主要零部件名称、作用记入表 1.27 中，然后闭合开关，用万用表电阻挡测量各触头之间的接触电阻，用兆欧表测量每两相触头之间的绝缘电阻，将测量结果一并记入表 1.27 中。

表 1.27　胶盖刀开关的基本结构与测量结果

型　　号		极　　数	主要零部件	
			名称	作用
触头接触电阻（Ω）				
L_1 相	L_2 相	L_3 相		
相间绝缘电阻（MΩ）				
L_1-L_2	L_1-L_3	L_2-L_3		

② 拆开一台塑壳式自动开关外壳，将其主要零部件名称、作用和有关参数记入表 1.28 中。

表 1.28　装置式自动开关零部件记录

名　　称	作　　用	有 关 数 据	
		名　　称	数　　据

技能训练 1.7　交流接触器的拆卸与组装技能训练

【训练要求】

熟悉交流接触器的拆卸工艺、基本构造与动作原理。

【训练工具】

尖嘴钳、螺丝刀、活络扳手，万用表、镊子、交流接触器等。

【训练步骤】

拆卸一只交流接触器，将拆卸步骤、主要零部件名称、作用、各对触头动作前后的电阻值及各类触头数量、线圈数据记入表 1.29 中。

表 1.29　交流接触器的拆卸与检测记录

<table>
<tr><th colspan="2">型　　号</th><th colspan="2">容　　量</th><th rowspan="2">拆 卸 步 骤</th><th colspan="2">主要零部件</th></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><th>名称</th><th>作用</th></tr>
<tr><td colspan="4">触头对数</td><td rowspan="11"></td><td rowspan="11"></td><td rowspan="11"></td></tr>
<tr><td colspan="2">主</td><td colspan="2">辅</td></tr>
<tr><td>常开</td><td>常闭</td><td>常开</td><td>常闭</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="4">触头电阻</td></tr>
<tr><td colspan="2">常开</td><td colspan="2">常闭</td></tr>
<tr><td>动作前
（MΩ）</td><td>动作后
（Ω）</td><td>动作前
（Ω）</td><td>动作后
（MΩ）</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="4">电磁线圈</td></tr>
<tr><td>线径</td><td>匝数</td><td>工作电压
（V）</td><td>直流电阻
（Ω）</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

技能训练 1.8　热继电器与时间继电器的拆卸技能训练

【训练要求】

学会拆卸热继电器和时间继电器，并了解各自的主要结构。

【训练工具】

尖嘴钳、螺丝刀、活络扳手、万用表、镊子、热继电器、时间继电器等。

【训练步骤】

① 打开热继电器外壳，观察其内部结构，检测各热元件电阻值，将各零部件名称、作用及有关电阻值记入表 1.30 中。

表 1.30　热继电器基本结构及热元件电阻检测记录

<table>
<tr><th colspan="2">型　　号</th><th>类　　型</th><th colspan="2">主要零部件</th></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td></td><th>名称</th><th>作用</th></tr>
<tr><td colspan="3">热 元 件 电 阻 值（Ω）</td><td rowspan="5"></td><td rowspan="5"></td></tr>
<tr><td>L₁ 相</td><td>L₂ 相</td><td>L₃ 相</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">整定电流调整值（A）</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td></tr>
</table>

② 观察空气阻尼式时间继电器结构，将主要零部件名称、作用、触头数量及种类记入表 1.31 中。

表 1.31　空气阻尼式时间继电器结构

<table>
<tr><th>型　　号</th><th>线圈电阻（Ω）</th><th colspan="2">主要零部件</th></tr>
<tr><td></td><td></td><th>名称</th><th>作用</th></tr>
<tr><td>常开触头数（对）</td><td>常闭触头数（对）</td><td rowspan="6"></td><td rowspan="6"></td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>延时触头数（对）</td><td>瞬时触头数（对）</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>延时分断触头数（对）</td><td>延时闭合触头数（对）</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
</table>

第 2 章　三相异步电动机及其电力拖动

学习目标

◆ 知识目标　了解三相异步电动机的基本工作原理、机械特性；了解三相异步电动机的启动、调速、制动的基本知识。

◆ 能力目标　会分析三相异步电动机在启动、调速、制动过程中的一些常见故障。

重点和难点

◆ 重点　三相异步电动机的机械特性分析；三相异步电动机启动、调速、制动的基本概念及其应用。

◆ 难点　三相异步电动机电力拖动的过渡过程。

2.1　三相异步电动机简介

2.1.1　三相异步电动机的结构

三相异步电动机主要由定子和转子两大部分组成，定子与转子之间是气隙。此外，还包括机座、端盖、轴承、风扇等，如图 2.1 所示。

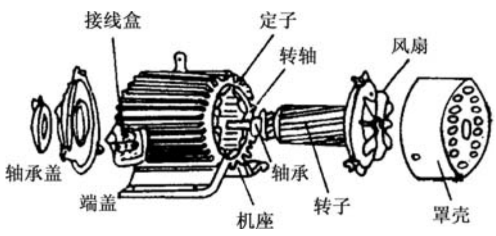


图 2.1　鼠笼型三相异步电动机的结构

1．异步电动机的定子

异步电动机的定子由机座、定子铁心和定子绕组三部分组成。

（1）机座

机座的作用主要是为了固定与支撑定子铁心，必须具备足够的机械强度和刚度。另外它也是电动机磁路的一部分。中小型异步电动机通常采用铸铁机座，并根据不同的冷却方式采

用不同的机座。大型电动机一般采用钢板焊接机座。

（2）定子铁心

定子铁心是异步电动机磁路的一部分，铁心内圆冲有均匀分布的槽，用以嵌放定子绕组。为降低损耗，定子铁心用 0.5mm 厚的硅钢片叠装而成，硅钢片的两面涂有绝缘漆。

（3）定子绕组

定子绕组是嵌放在定子铁心槽内的三组相同的线圈，由于在定子铁心内对称放置，故称三相对称绕组。当通入三相交流电时，能产生旋转磁场，并与转子绕组相互作用，实现能量的转换与传递。

2. 异步电动机的转子

异步电动机的转子是电动机的转动部分，它的作用是带动其他机械设备旋转。转子由转子铁心、转子绕组及转轴等部件组成。

（1）转子铁心

转子铁心的作用和定子铁心的作用相同，也是电动机磁路的一部分，在转子铁心外圆均匀的冲有许多槽，用来嵌放转子绕组。转子铁心也是用 0.5mm 的硅钢片叠压而成，整个转子铁心固定在转轴上。

（2）转子绕组

三相异步电动机按转子绕组的结构可分为绕线式转子和鼠笼式转子两种。根据转子的不同，异步电动机分为绕线式异步电动机和鼠笼式异步电动机。

① 绕线式转子。绕线式转子绕组与定子绕组相似，也是嵌放在转子铁心槽内的对称三相绕组，通常采用 Y 形接法。转子绕组的三条引线分别接到三个滑环上，用一套电刷装置与外电阻接通。一般把外接电阻串入转子绕组回路中，用以改善电动机的运行性能，如图 2.2 所示。

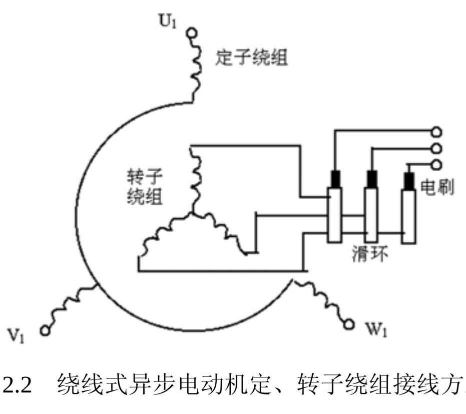


图 2.2　绕线式异步电动机定、转子绕组接线方式

② 鼠笼式转子。鼠笼式转子绕组与定子绕组不同，它是一个短路绕组。在转子的每个槽内放置一根导条，每根导条都比铁心长，在铁心的两端用两个铜环将所有的导条都短路。如果把转子铁心去掉，剩下的绕组形状像个松鼠笼子，因此叫鼠笼转子。槽内导条材料为铜或铝。如果用铜材料，就需要把事先做好的裸铜条插入转子铁心的槽内，再用铜环套在伸出铁心两端的铜条上，最后将铜条与铜环焊在一起；如果用的是铝材料，就用熔化的铝液，直接浇铸在转子铁心的槽内，连同端环、风扇一次铸成。

3．气隙

异步电动机的气隙比同容量的直流电动机的气隙要小得多。中型异步电动机的气隙一般为 0.12mm～2mm。

异步电动机的气隙过大或过小都将对异步电动机的运行产生不良影响。因为异步电动机的励磁电流是由定子电流提供的，气隙大磁阻也大，要求的励磁电流也就大，从而降低了异步电动机的功率因数。为了提高功率因数，应尽量让气隙小些。但也不能过小，否则，装配困难，转子还有可能与定子发生机械摩擦。另外，从减少附加损耗及高次谐波磁势产生的磁通来看，气隙大有好处。

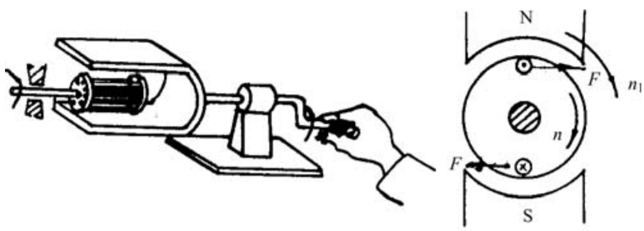
2.1.2　三相异步电动机的基本工作原理

1．旋转磁场对转子闭合导体的作用

要了解三相异步电动机的基本工作原理，必须先了解旋转磁场对转子闭合导体的作用。

如图 2.3（a）所示是一个异步电动机转动原理的模型。一个装有手柄的永久磁铁，当转动手柄时，永久磁铁的 N 极、S 极跟着手柄旋转，由磁极产生的磁场也随之在空间旋转，这就是所说的旋转磁场。

在两磁极之间，装一个可绕轴转动的转子，转子铜条与端环构成闭合导体。图 2.3（b）所示是磁极和转子的简化原理图。



（a）模型图　　（b）简化原理图

图 2.3　异步电动机转动原理模型

转动手柄，使旋转磁场做顺时针方向的旋转运动，静止不动的转子铜条与旋转磁场之间就有了相对运动。此时也可把旋转磁场视为不动，而转子沿逆时针方向转动。铜条切割磁力线必然会产生感应电势，其方向由右手定则确定，靠近 N 极的铜条中感应电势的方向为出纸面的，用⊙表示；靠近 S 极的铜条中感应电势方向为进入纸面的，用⊗表示。闭合铜条中的感应电流方向与感应电势方向相同，如图 2.3（b）所示。

接着，载有电流的转子铜条在旋转磁场中受到电磁力 F 的作用。F 的方向由左手定则确定。靠近 N 极的导体，受到方向向右的电磁力，靠近 S 极的导体受到方向向左的电磁力。这一对电磁力相对于轴产生一个顺时针方向的电磁力矩，驱动转子顺时针方向转动。

由此可见，转子的转动方向和旋转磁场的转动方向相同。如果要改变转子的转动方向，只需改变旋转磁场的方向即可。

综上所述，三相异步电动机能够转动的必备条件，一是电动机的定子必须产生一个在空间不断旋转的旋转磁场，二是电动机的转子必须是闭合导体。

2．转差率

实际运行中，异步电动机的旋转磁场是由三相定子绕组通入三相交流电产生的，并非是用手柄转动磁铁得到的。

旋转磁场相对于静止不动的定子的转速，称为同步转速，用 n_1 表示。转子的转速 n 必然小于同步转速 n_1。因为如果二者的转速相等，转子与旋转磁场之间就没有相对运动，转子导体就不会切割磁力线，转子导体中的感应电动势、电流及驱动转子转动的电磁转矩就都不存在。从工作原理可以看出，转子的转速必然小于同步转速，它们之间存在着一定的转速之差，这就是“异步”电动机名称的由来。若三相异步电动机带上机械负载，负载转矩越大，则电动机的“异步”程度也越大。在三相异步电动机的分析中，用“转差率”这个概念来反映“异步”的程度。

同步转速 n_1 与转子转速 n 之间的转速差 Δn 与同步转速 n_1 的比值，称为异步电动机的转差率，用字母 s 表示。

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} \tag{2.1}$$

同步转速 n_1 的大小为

$$n_1 = \frac{60 f_1}{p}$$

式中　f_1——定子电流的频率，一般为 50Hz；

p——磁极对数。

同步转速的方向由通入定子绕组的三相电流的相序决定，而转子旋转的方向则取决于同步转速的方向。因此若想改变电动机的转向，只要改变三相电流的相序，也就是调换任意两相定子绕组的电流接线即可。

通常异步电动机在额定运行时，其转差率约为 0.02～0.06，可见，额定运行时异步电动机的转子转速非常接近同步转速。

【例 2.1】 已知一台四极三相异步电动机转子的额定转速为 1 430r/min，求它的转差率。

解：同步转速

$$n_1 = \frac{60 f_1}{p} = \frac{60 \times 50}{2} = 1\,500\text{r/min}$$

转差率

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{1\,500 - 1\,430}{1\,500} = 0.047$$

【例 2.2】 已知一台异步电动机的同步转速 n_1=1 000r/min，额定转差率 s_N=0.03。问该电动机额定运行时转速是多少？

解：由 s 表示额定转差率可得

$$n_N = n_1(1 - s) = 1000 \times (1 - 0.03) = 970\text{r/min}$$

2.2　三相异步电动机的机械特性

2.2.1　机械特性方程

三相异步电动机的机械特性是指在一定条件下，电动机的转速与转矩之间的关系，即 $n = f(T)$。因为异步电动机的转速 n 与转差率 s 之间存在一定的关系，异步电动机的机械特性多用 $T = f(s)$ 的形式表示，称 T-s 曲线。

对于三相异步电动机，其机械特性方程为

$$T = \frac{3p}{2\pi f_1} U_1^2 \frac{\dfrac{r_2'}{S}}{\left(r_1 + \dfrac{r_2'}{S}\right)^2 + \left(x_1 + x_2'\right)^2} \tag{2.2}$$

式中　U_1 ——外施电源电压；

f_1 ——电源频率；

r_1, x_1 ——电机定子绕组参数；

r_2', x_2' ——电机转子绕组参数。

式（2.2）又称为电机的参数表达式。机械特性方程为一个二次方程，当 s 为某一个值时，电磁转矩有一最大值 T_m。令 $dT/ds=0$，即可求得产生最大电磁转矩 T_m 时的临界转差率 s_m，即

$$s_m = \frac{r_2'}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2}} \tag{2.3}$$

将式（2.3）代入式（2.2），求得对应 s_m 的最大电磁转矩 T_m，即

$$T_m = \frac{3p}{4\pi f_1} U_1^2 \frac{1}{r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2}} \tag{2.4}$$

由式（2.3）和（2.4）可见：

① 当电源的频率及电机的参数不变时，最大转矩与电压的平方成正比；

② 最大转矩和临界转差率都与定子电阻 r_1 及定、转子漏抗 x_1, x_2' 有关；

③ 最大转矩和转子回路中的电阻 r_2' 无关，而临界转差率则与 r_2' 成正比，调节转子回路的电阻，可使最大转矩在任意 s 时出现。

转矩的参数表达式便于分析参数变化对电机运行性能的影响。机械特性根据具体应用情况，可分为固有机械特性和人为机械特性两种。

2.2.2　固有机械特性

异步电动机的固有机械特性是指在额定电压和额定频率下，按规定方式接线，定、转子外接电阻为零时，电磁转矩 T 与转差率 s 的关系，即 $T = f(s)$ 曲线。

当 $U=U_e$，$f=f_e$ 时，固有机械特性曲线如图 2.4 所示。

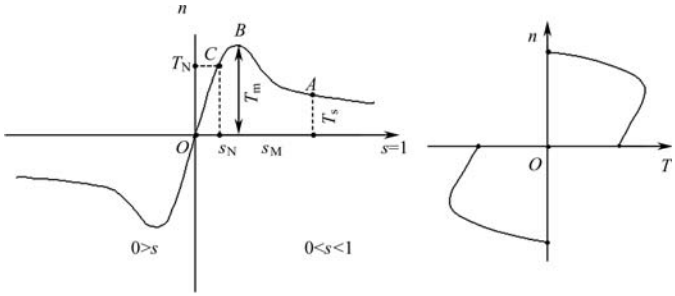


图 2.4　异步电动机的固有机械特性曲线

1．曲线形状分析

① *AB* 段。因 *s* 较大，且异步电动机中 $r_1 + r_2' << x_1 + x_2'$，$T \approx \dfrac{3pU_1^2 \dfrac{r_2'}{S}}{2\pi f_1 (x_1 + x_2')^2}$，近似为双曲线，随 *s* 的减小，*T* 反而增大。

② *BO* 段。因 *s* 很小，$T \approx \dfrac{3pU_1^2}{2\pi f_1 \dfrac{r_2'}{S}} = \dfrac{3pU_1^2 s}{2\pi f_1 r_2'}$，近似为直线，随 *s* 的减小，*T* 亦减小。

2．曲线的几个特殊点的分析

① 启动点 *A*。电动机接入电网但尚未开始转动的瞬间轴上产生的转矩叫电动机启动转矩（又称堵转转矩）。此时 *n*=0，*s*=1，$T = T_s = \dfrac{3pU_1^2 r_2'}{2\pi f_1 [(r_1 + r_2')^2 + (x_1 + x_2')^2]}$，只有当启动转矩 T_s 大于负载转矩 T_L 时，电动机才能启动。通常启动转矩与额定电磁转矩的比值称为电机的启动转矩倍数，用 K_T 表示，$K_T=T_S/T_N$。它表示启动转矩的大小，是异步电动机的一项重要指标，对于一般的鼠笼型异步电动机，启动转矩倍数 K_T 约为 0.8～1.8。

② 同步点 *O*。在理想电动机中，$n=n_1$，*s*=0，*T*= 0。

③ 额定点 *C*。*T*-*s* 曲线中的 *AB* 段为电动机运行的不稳定区，*BO* 段是稳定运行区，即异步电动机稳定运行区域为 $0<s<s_m$。为了使电动机能够适应在短时间过载而不停转，电动机必须留有一定的过载能力，额定运行点不宜靠近临界点，一般 s_N=0.02～0.06。

④ 临界点 *B*。一般电动机的临界转差率约为 0.1～0.2，在 s_m 下，电动机产生最大电磁转矩 T_m。

电动机经常工作在不超过额定负载的情况下。但在实际运行中，负载免不了会发生波动，出现短时超过额定负载转矩的情况。如果最大电磁转矩大于波动时的峰值，电动机还能带动负载，否则便不行了。最大转矩 T_m 与额定转矩 T_N 之比为过载能力λ，它也是异步电动机的一个重要指标，一般λ的取值范围为 1.6～2.2。

异步电动机额定电磁转矩等于空载转矩加上额定负载转矩，因空载转矩比较小，有时认为额定电磁转矩等于额定负载转矩。额定负载转矩可从铭牌数据中求得，即

$$T_N = 9\,550 \frac{P_N}{n_N} \tag{2.5}$$

式中　T_N——额定负载转矩，N • m；

P_N——额定功率，kW；

n_N——额定转速，r/min。

【例 2.3】 有一台笼式三相异步电动机，额定功率 P_N=40kW，额定转速 $n_N = 1\,450\text{r/min}$，过载系数 $\lambda = 2.2$。求额定转矩 T_N 和最大转矩 T_m。

解：$T_N = 9\,550\dfrac{P_N}{n_N} = 9\,550 \times \dfrac{40}{1\,450} = 263.45\text{N}\cdot\text{m}$

$$T_m = \lambda T_N = 2.2 \times 263.45 = 579.59\text{N}\cdot\text{m}$$

2.2.3　人为机械特性

人为机械特性就是人为地改变电源参数或电机参数而得到的机械特性。

1．降低定子电压的人为机械特性

由式（2.2）可见，当定子电压 U_1 降低时，电磁转矩与 U_1^2 成正比地降低。同步点不变，S_m 不变，最大转矩 T_m 与启动转矩 T_s 都随电压平方降低，其特性曲线如图 2.5 所示。

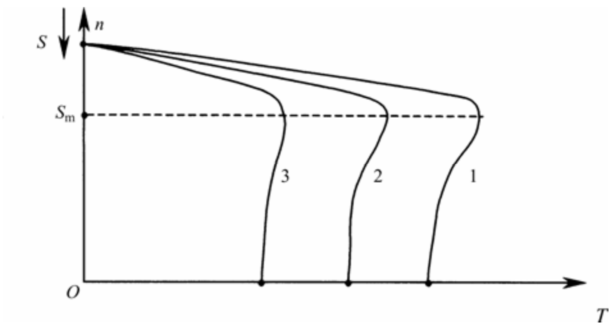


图 2.5　降低电压的人为机械特性曲线（U_1>U_2>U_3）

2．转子串电阻时的人为机械特性

此法适用于绕线式异步电动机。在转子回路内串入三相对称电阻时，同步点不变，s_m 与转子电阻成正比变化，最大转矩 T_m 与转子电阻无关而不变，其机械特性如图 2.6 所示。

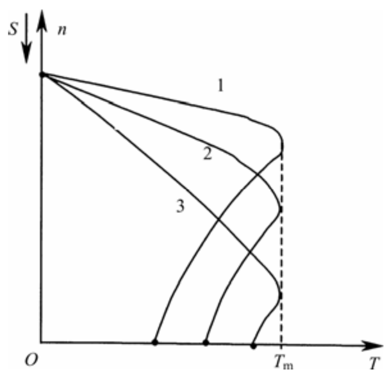


图 2.6　转子串电阻时的人为机械特性（r_1<r_2<r_3）

2.3 生产机械的负载特性

生产机械运行时常用负载转矩表示其负载的大小。不同的生产机械的转矩随转速变化规律不同，生产机械的转速 n 与负载转矩 T_L 之间的函数关系 $n=f(T_L)$ 称为负载转矩特性，简称负载特性。各种生产机械按负载特性的不同，大致可分为恒转矩负载、恒功率负载、通风机型负载三类。

2.3.1 恒转矩负载

恒转矩负载是指负载转矩 T_L 的大小不随转速而改变的生产机械。根据 T_L 与运行方向的关系，分为反抗性负载和位能性恒转矩负载两种。

1．反抗性恒转矩负载

负载转矩的大小不变，但负载转矩的方向始终与生产机械运动的方向相反，如生产机械的摩擦转矩。当转动方向改变时，摩擦转矩也随之反向。如图 2.7 所示。

2．位能性恒转矩负载

不论生产机械运动的方向变动与否，负载转矩的大小和方向始终不变。例如起重装置的吊钩及重物所产生的转矩。如图 2.8 所示。

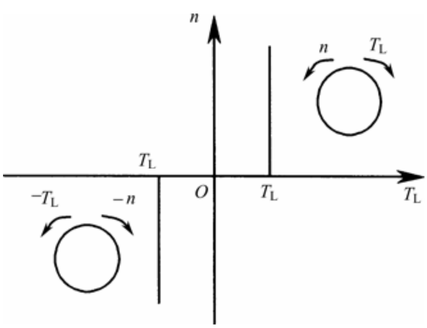


图 2.7 反抗性恒转矩负载特性

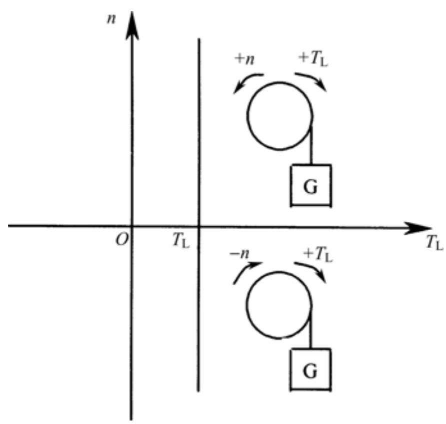


图 2.8 位能性恒转矩负载特性

2.3.2 恒功率负载

恒功率负载是指负载所需的功率为恒定值。因 $P_L = T_L \cdot \left(\frac{2\pi n}{60}\right) = \left(\frac{2\pi}{60}\right) T_L \cdot n$，所以负载转矩与转速成反比，如图 2.9 所示。如车床的切削加工，粗加工时，切削量大，用低速；精加工时，切削量小，用高速。

2.3.3　通风机型负载

通风机型负载是指负载转矩 T_L 的大小与转速 n 的平方成正比的生产机械，即 $T_L=Kn^2$。如鼓风机、水泵、油泵等的叶片所受的阻转矩。负载特性如图 2.10 所示。

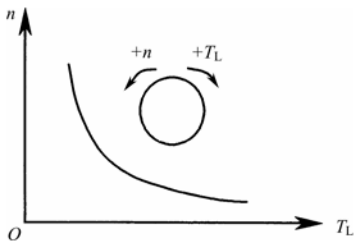


图 2.9　恒功率负载特性

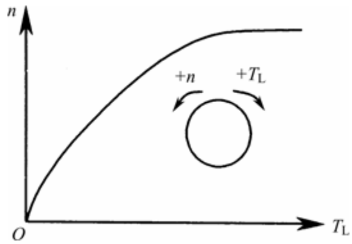


图 2.10　通风机型负载特性

2.4　三相异步电动机的启动

三相异步电动机的启动就是转速从零开始到稳定运行为止的这一过程。衡量异步电动机启动性能的好坏要从启动电流、启动转矩、启动过程的平滑性、启动时间及经济性等方面来考虑，其中最主要的是：电动机应有足够大的启动转矩；在保证一定大小的启动转矩的前提下，启动电流越小越好。

异步电动机在刚启动时 s=1，若忽略励磁电流，则启动电流为

$$I_S \approx \frac{U_1}{\sqrt{(r_1+r_2')^2+(x_1+x_2')^2}} \tag{2.6}$$

启动电流即短路电流，数值很大，一般电动机的启动电流可达额定电流值的 5～8 倍。这样大的启动电流，一方面使电源和线路上产生很大的压降，影响其他用电设备的正常运行，使电灯亮度减弱，电动机的转速下降，欠电压继电保护动作而将正在运转的电气设备断电等。另一方面电流很大将引起电机发热，特别对频繁启动的电机，发热更为厉害。

启动电流大时，启动转矩又如何呢？启动时虽然电流很大，但定子绕组阻抗压降变大，电压为定值，则感应电势将减小，主磁通 Φ_m 将减小，并且启动时电机的功率因数很小，此时启动转矩并不大。

从上面的分析可以看出，要限制启动电流，可以采取降压或增大电机参数的启动方法。为增大启动转矩，可适当加大转子的电阻。下面介绍几种异步电动机的常用启动方法。

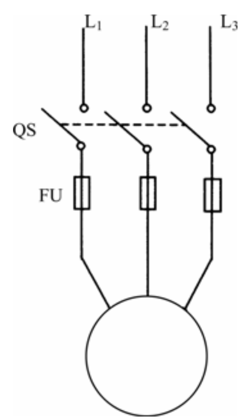


图 2.11　异步电动机直接启动接线图

2.4.1　直接启动

直接启动是最简单的启动方法。启动时用闸刀开关、磁力启动器或接触器将电动机定子绕组直接接到电源上，其接线图如图 2.11 所示。直接启动时，启动电流很大，一般选取保险丝的额定电流为电机额定电流的 2.5～3.5 倍。

对于一般小型鼠笼型异步电动机如果电源容量足够大时，应

尽量采用直接启动方法。对于某一电网，多大容量的电动机才允许直接启动，可按下列经验公式来确定

$$K_I = \frac{I_S}{I_N} \leqslant \frac{1}{4}\left[\frac{\text{电源总容量}\ (\text{kV}\cdot\text{A})}{\text{电动机额定功率}\ (\text{kW})}\right] \tag{2.7}$$

电动机的启动电流倍数 K_I 需符合式（2.7）中电网允许的启动电流倍数，才允许直接启动，否则应采取降压启动。一般 10kW 以下的电动机都可以直接启动。随电网容量的加大，允许直接启动的电动机容量也变大。

2.4.2 鼠笼型异步电动机的降压启动

降压启动是指电动机在启动时降低加在定子绕组上的电压，启动结束时加额定电压运行的启动方式。

降压启动虽然能降低电动机启动电流，但由于电动机的转矩与电压的平方成正比，因此降压启动时电动机的转矩减小较多，故此法一般适用于电动机空载或轻载启动。降低启动的方法有以下几种。

1．定子串接电抗器或电阻的降压启动

方法：启动时，电抗器或电阻接入定子电路；启动后，切除电抗器或电阻，进入正常运行。

三相异步电动机定子边串入电抗器或电阻启动时，定子绕组实际所加电压降低，从而减小启动电流。但定子边串电阻启动时，能耗较大，实际应用不多。

2．Y—△启动

方法：启动时定子绕组接成 Y 形，运行时定子绕组则接成△形，其接线图如图 2.12 所示。对于运行时定子绕组为 Y 形的鼠笼型异步电动机则不能用 Y—△启动方法。

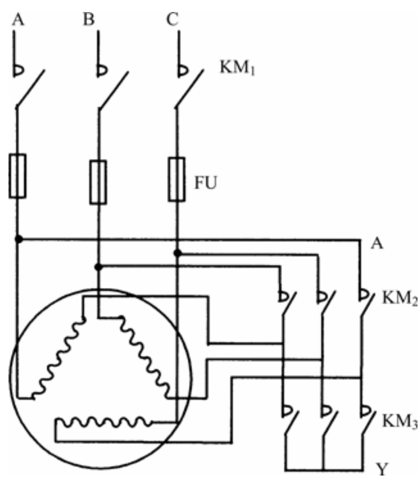


图 2.12 Y—△启动原理图

Y—△启动时，启动电流 I'_S 与直接启动时的启动电流 I_S 的关系（注：启动电流是指线路电流而不是指定子绕组的电流）：

电动机直接启动时，定子绕组接成△形，每相绕组所加电压大小为 $U_1=U_N$，电流为 $I_\triangle$，则电源输入的线电流为 $I_S=\sqrt{3}I_\triangle$。

采用 Y 形启动时，每相绕组所加电压为 $U_1'=\dfrac{U_1}{\sqrt{3}}=\dfrac{U_N}{\sqrt{3}}$，电流 $I_S'=I_Y$

$$\frac{I_S'}{I_S}=\frac{I_Y}{\sqrt{3}I_\triangle}=\frac{U_N/\sqrt{3}}{\sqrt{3}U_N}=\frac{1}{\sqrt{3}}\cdot\frac{1}{\sqrt{3}}=\frac{1}{3}$$

所以

$$I_S'=\frac{1}{3}I_S \tag{2.8}$$

由式（2.7）可见，Y—△启动时，对供电变压器造成冲击的启动电流是直接启动时的 1/3。

直接启动时启动转矩为 T_S，Y—△启动时启动转矩为 T_S'，则

$$\frac{T_S'}{T_S}=\left(\frac{U'_1}{U_1}\right)^2=\frac{1}{3}\qquad 即T_S'=\frac{1}{3}T_S \tag{2.9}$$

由式（2.8）可见，Y—△启动时启动转矩也是直接启动时的 1/3。

Y—△启动比定子串电抗器启动性能要好，可用于拖动 $T_L\leqslant\dfrac{T_S}{1.1}=\dfrac{T_S}{1.1\times3}=0.3T_S$ 的轻负载启动。

Y—△启动方法简单，价格便宜，因此在轻载启动条件下，应优先采用。我国采用 Y—△启动方法的电动机额定电压都是 380V，绕组是△接法。

3．自耦变压器（启动补偿器）启动

方法：自耦变压器也称启动补偿器。启动时电源接自耦变压器初级，次级接电动机。启动结束后电源直接加到电动机上。

三相鼠笼型异步电动机采用自耦变压器降压启动的接线如图 2.13 所示，其启动的一相线路如图 2.14 所示。

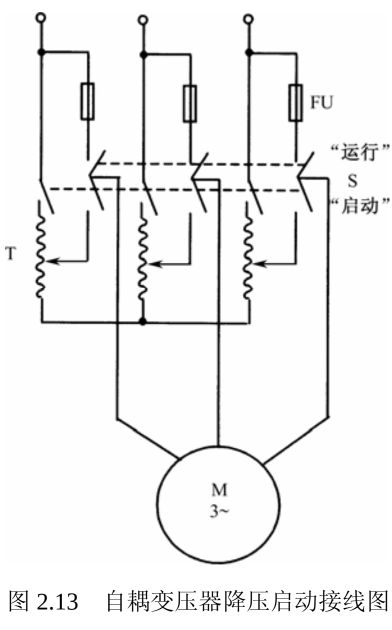


图 2.13　自耦变压器降压启动接线图

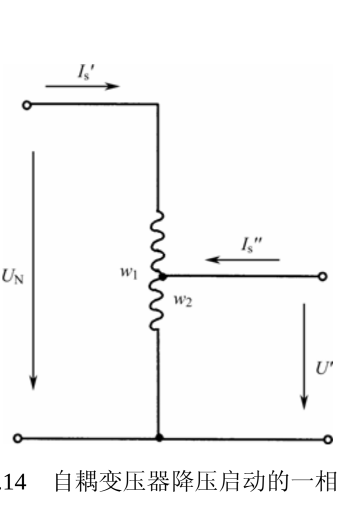


图 2.14　自耦变压器降压启动的一相线路

设自耦变压器变比为 $K=\dfrac{w_2}{w_1}<1$，则直接启动时定子绕组的电压 U_N、电流 I_S 与降压启动时承受的电压U'、电流 I_S'' 关系为

$$\frac{U_N}{U'}=\frac{w_1}{w_2}=\frac{1}{K}$$

$$\frac{I_S}{I_S''}=\frac{U_N}{U'}=\frac{1}{K}$$

而所谓的启动电流是指电网供给线路的电流，即自耦变压器原边的电流 I_S'，它与副边启动时电流 I_S'' 关系为：

$$\frac{I_S''}{I_S'}=\frac{w_1}{w_2}=\frac{1}{K}$$

因此降压启动电流 I_S' 与直接启动电流 I_S 关系：

$$I_S'=K^2I_S \qquad (K<1) \tag{2.10}$$

而自耦变压器降压启动时转矩T_S'与直接启动时转矩 T_S 的关系为：

$$\frac{T_S'}{T_S}=\left(\frac{U'}{U_N}\right)^2=K^2 \qquad 即 T_S'=K^2T_S(K<1) \tag{2.11}$$

可见，采用自耦变压器降压启动，启动电流和启动转矩都降为 K^2 倍。自耦变压器一般有 2～3 组抽头，其电压可以分别为原边电压 U_1 的 80%，65%或 80%，60%，40%。

该种方法对定子绕组采用 Y 形或△形接法都可以使用，缺点是设备体积大，投资较贵。

【例 2.4】 已知一台 J02—93—6 鼠笼型异步电动机技术数据为：额定容量 P_N=55kW，△接线，全压启动电流倍数 K_I=6，启动转矩倍数 K_T=1.25，电源容量为 1 000kV·A。若电动机带额定负载启动，试问应采用什么方法启动？并计算启动电流和启动转矩。

解：① 试用直接启动

电源允许的启动电流倍数为

$$K_I\leqslant\frac{1}{4}\left(3+\frac{1\,000}{55}\right)=5.3$$

而 $K_I=6>5.3$，故不能直接启动。

② 试用 Y—△启动

$$I_{SY}=\frac{1}{3}I_{S\Delta}=\frac{1}{3}\times 6I_N=2I_N$$

$$K_I=\frac{I_{SY}}{I_N}=2<5.3 \text{启动电流可以满足要求}$$

$$T_{SY}=\frac{1}{3}T_S=\frac{1}{3}\times K_TT_N=\frac{1}{3}\times 1.25T_N=0.42T_N<T_N$$

启动转矩太小，故不能使用 Y—△启动。

③ 试用自耦变压器启动

选用抽头，使其变比为 K，则用自耦变压器启动时的启动电流 I_{SZ} 为

$$I_{SZ}=K^2I_S=K^2\times 6I_N$$

因启动电流倍数小于电源允许启动电流倍数，有

$$\frac{I_{SZ}}{I_N}=6K^2<5.3$$

$$K<0.94$$

同时 $$T_{SZ}=K^2T_S=K^2K_TT_N>T_N$$

有 $$K^2\cdot K_T>1$$

$$K>\sqrt{\frac{1}{K_T}}=\sqrt{\frac{1}{1.25}}=0.894$$

所以自耦变压器的抽头 $0.894<K<0.94$。

【例 2.5】 有一台 Y250M—4 异步电动机，其 P_N=55kW，I_N=103A，$K_I=I_S/I_N=7$，$K_T=T_S/T_N=2$。若带有 0.6 倍额定负载转矩启动，宜采用 Y—△启动还是自耦变压器（抽头为 65%和 80%）启动？

解：① 若选用 Y—△启动，则

启动电流 $$I_{SY}=\frac{1}{3}I_S=\frac{1}{3}\times 7I_N=2.33I_N$$

启动转矩 $$T_{SY}=\frac{1}{3}T_S=\frac{1}{3}\times 2T_N=0.667T_N>0.6T_N$$

② 若选用自耦变压器启动，用 65%抽头，则

启动电流 $$I_{S65}=0.65^2I_S=0.65^2\times 7I_N=2.96I_N$$

启动转矩 $$T_{S65}=0.65^2T_S=0.65^2\times 2T_N=0.845T_N>0.6T_N$$

二者比较后可以看出启动转矩均能满足要求，但 Y—△启动时启动电流相对较小，所以宜选用 Y—△启动。

4．延边三角形启动

延边三角形降压启动如图 2.15 所示，它介于自耦变压器启动与 Y—△启动方法之间。

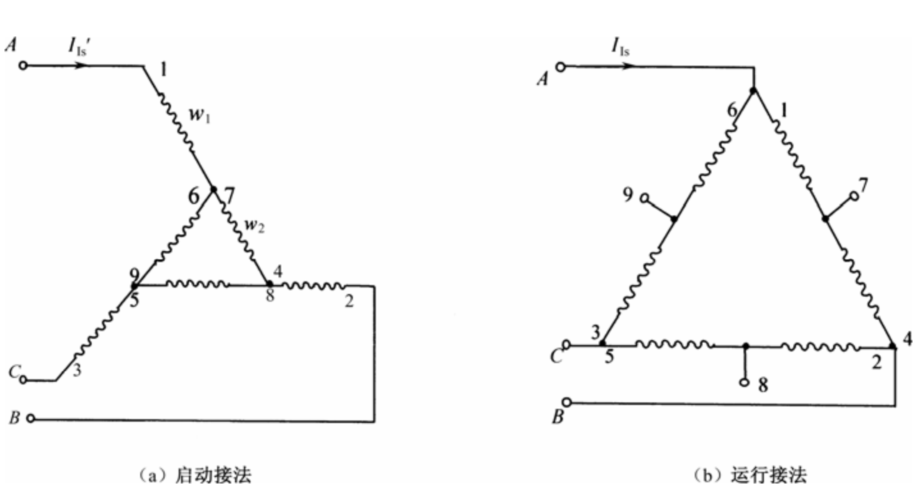


图 2.15　延边三角形启动原理

如果将延边三角形看成一部分为 Y 形接法，另一部分为△形接法，则 Y 形部分比重越大，启动时电压降得越多。根据分析和试验可知，Y 形和△形的抽头比例为 1∶1 时，电动机每相电压是 268V；抽头比例为 1∶2 时，每相绕组的电压为 290V。可见，延边三角形可采用不同的抽头比，来满足不同负载特性的要求。

延边三角形启动的优点是节省金属、重量轻，缺点是内部接线复杂。

鼠笼型异步电动机除了可在定子绕组想办法降压启动外，还可以通过改进笼的结构来改善启动性能，这类电动机主要有深槽式和双笼式。

2.4.3　绕线式异步电动机的启动

前面在分析机械特性时已经说明，适当增加转子电路的电阻可以提高启动转矩。绕线式异步电动机正是利用这一特性，启动时在转子回路中串入电阻器或频繁变阻器来改善启动性能。

1．转子串接电阻器启动

启动时，在转子电路串接启动电阻器，借以提高启动转矩，同时因转子电阻增大也限制了启动电流；启动结束，切除转子所串电阻。为了在整个启动过程中得到比较大的启动转矩，需分几级切除启动电阻。启动接线图和特性曲线如图 2.16 所示。

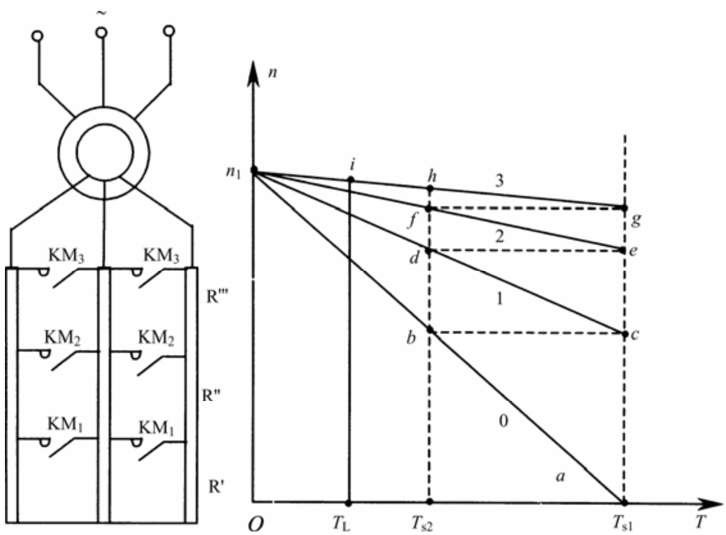


图 2.16　绕线式电动机启动接线图和特性曲线

启动过程如下所述。

（1）接触器触点 KM_1，KM_2，KM_3 全断开，电动机定子接额定电压，转子每相串入全部电阻。如正确选取电阻器的电阻值，使转子回路的总电阻值 $R_2' = x_2'$，则由式（2.3）可知，此时 s_m=1，即最大转矩产生在电动机启动瞬间，如图 2.16 中曲线 0 中 a 点，启动转矩 T_S。

（2）由于 $T_{s1}>T_L$，电机加速到 b 点时，$T=T_{s2}$。为了加速启动过程，接触器 KM_1 闭合，切除启动电阻 R′，特性变为曲线 1，因机械惯性，转速瞬时不变，则工作点水平过渡到 c 点，使该点 $T=T_{s1}$。

（3）因 $T_{S1}>T_L$，转速沿曲线 1 继续上升，到 d 点时 KM_2 闭合，R″ 被切除，电机运行点

从 d 转变到特性曲线 2 上的 e 点……。依次类推，直到切除全部电阻，电动机便沿着固有特性曲线 3 加速，经 h 点，最后运行于 i 点（$T=T_L$）。

上述启动过程中，电阻分三级切除，故称为三级启动。转子串电阻启动需要计算启动电阻的阻值。

由式（2.3）可知，$s_m \propto r_2 + R$。说明临界转差率 s_m 总是与转子回路总电阻（r_2+R）成正比。

为简化计算，在 $0<s<s_m$ 范围内，机械特性可表示为 $T \approx \dfrac{3pU_1^2}{2\pi f_1 \dfrac{r_2'}{S}} = \dfrac{3pU_1^2 s}{2\pi f_1 r_2'}$，近似看成一条直线。当转矩一定时，转子回路串入不同数值电阻 R 后，$s \propto s_m \propto r_2 + R$。

由此可得

$$\frac{r_2}{s_0} = \frac{r_2 + R'}{s_1} = \frac{r_2 + R''}{s_2} = \frac{r_2 + R'''}{s_3} = \cdots\cdots = \text{常数} \tag{2.12}$$

转子串电阻启动，在整个启动过程中产生的转矩都是比较大的，适合于重载启动，广泛用于桥式起重机、卷扬机、龙门吊车等重载设备。其缺点是所需启动设备较多，启动时有一部分能量消耗在启动电阻上，启动级数也较少。

2．转子串频敏变阻器启动

频敏变阻器的结构特点：它是一个三相铁心线圈，其铁心不用硅钢片而用厚钢板叠成。铁心中产生涡流损耗和一部分磁滞损耗，铁心损耗相当于一个等值电阻，其线圈又是一个电抗，故电阻和电抗都随频率变化而变化，故称频敏变阻器。它与绕线式异步电动机的转子绕组相接，如图 2.17 所示。其工作原理如下所述。

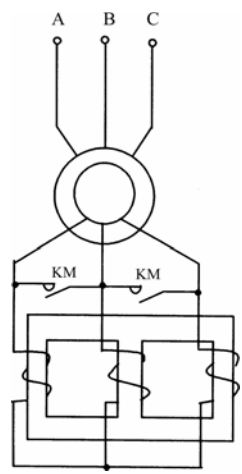


图 2.17　异步电动机串频敏变阻器启动

启动时，$s=1, f_2=f_1=50\text{Hz}$，此时频敏变阻器的铁心损耗大，等效电阻大，既限制了启动电流，增大启动转矩，又提高了转子回路的功率因数。随着转速 n 升高，s 下降，f_2 减小，铁心损耗和等效电阻也随之减小，相当于逐渐切除转子电路所串的电阻。启动结束时，$n=n_N, f_2=s_N f_1 \approx (1\sim3)\text{Hz}$，此时频敏变阻器基本不起作用，可以闭合接触器触点 K，予以切除。

频敏变阻器启动结构简单，运行可靠。但与转子串电阻启动相比，在同样启动电流下，启动转矩要小些。

2.5　三相异步电动机的调速

近年来，随着电力电子技术的发展，异步电动机的调速性能大有改善，交流调速应用日益广泛，在许多领域有取代直流调速系统的趋势。

从异步电动机的转速关系式 $n=n_1(1-s)=\dfrac{60f_1}{p}(1-s)$ 可以看出，异步电动机调速可分以下三大类：

① 改变定子绕组的磁极对数 p——变极调速；

② 改变供电电网的频率 f_1——变频调速；

③ 改变电动机的转差率 s，具体操作方法有改变电压调速，绕线式电机转子串电阻调速和串级调速。

2.5.1 变极调速

在电源频率不变的条件下，改变电动机的极对数，电动机的同步转速 n_1 就会发生变化，从而改变电动机的转速。若极对数减少一半，同步转速就提高一倍，电动机转速也几乎升高一倍。

通常用改变定子绕组的接法来改变极对数，这种电机称多速电动机。其转子均采用鼠笼型转子，因其感应的极对数能自动与定子相适应。

下面以 A 相绕组来说明变极原理。先将其两个半相绕组 a_1x_1 与 a_2x_2 采用顺向串联，如图 2.18 所示。

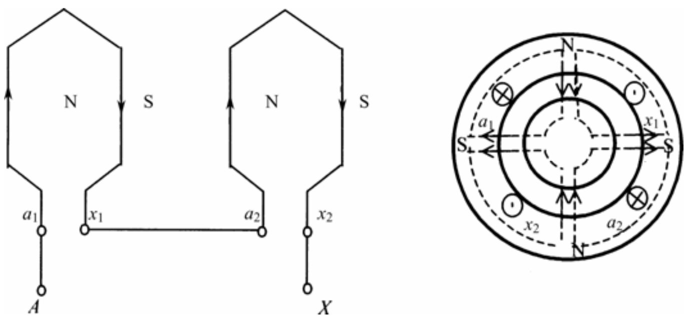


图 2.18 三相四极电动机定子 A 相绕组

若将 A 相绕组中的半相绕组 a_2x_2 反向，如图 2.19 所示，则可以改变电机的极对数。

多极电机定子绕组联结方式常用的有两种：一种是从星形改成双星形，写为 Y—YY，如图 2.20 所示；另一种是从三角形改成双星形，写为△—YY，如图 2.21 所示，这两种接法可使电机极数减少一半。注意：在改接绕组时，为了使电机转向不变，应把绕组的相序改接。

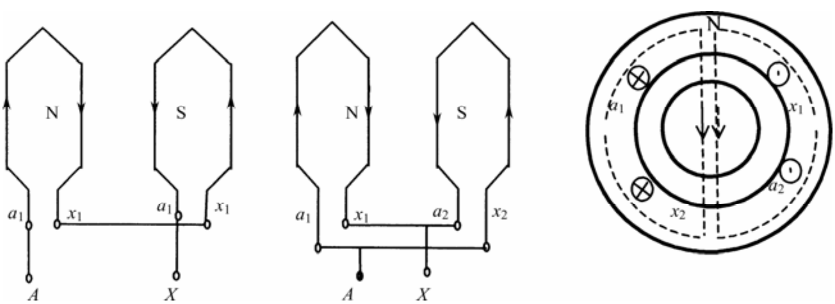


图 2.19 三相二极电动机定子 A 相绕组

变极调速主要用于各种机床及其他设备上。它所需设备简单、体积小、重量轻，但电动机绕组引出头较多，调速级数少。

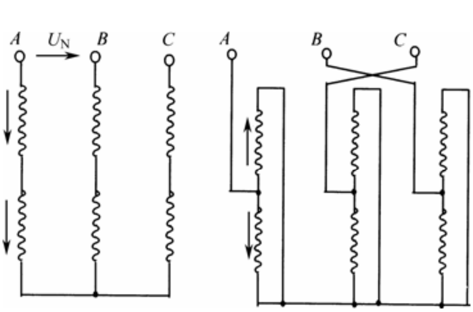


图 2.20　异步电动机 Y—YY 变极调速接线

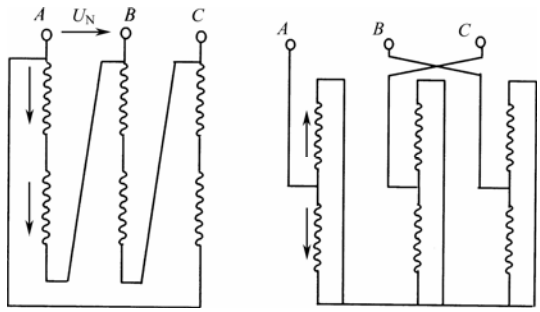


图 2.21　异步电动机△—YY 变极调速接线

2.5.2　变频调速

随着晶闸管整流和变频技术的迅速发展，异步电动机的变频调速应用日益广泛，有逐步取代直流调速的趋势，它主要用于拖动泵类负载，如通风机、水泵等。

由定子电势方程式 $U_1 \approx E_1 = 4.44 f_1 w_1 K_1 \Phi_m$ 可看出，当降低电源频率 f_1 调速时，若电源电压 U_1 不变，则磁通 Φ_m 将增加，使铁心饱和，从而导致励磁电流和铁损耗的大量增加，电机温升过高等，这是不允许的。因此在变频调速的同时，为保持磁通 Φ_m 不变，就必须降低电源电压，使 U_1 / f_1 为常数。

变频调速根据电动机输出性能的不同可分为：保持电动机过载能力不变；保持电动机恒转矩输出；保持电动机恒功率输出。

变频调速的主要优点是能平滑调速、调速范围广、效率高。主要缺点是系统较复杂、成本较高。

2.5.3　改变定子电压调速

改变定子电压调速法用于鼠笼型异步电动机，属改变转差率 s 调速。

对于转子电阻大、机械特性曲线较软的鼠笼型异步电动机，如所加在定子绕组上的电压发生改变，则负载转矩 T_L 对应于不同的电源电压 U_1，U_2，U_3，可获得不同的工作点 a_1，a_2，a_3，如图 2.22 所示，显然电动机的调速范围很宽。缺点是低压时机械特性太软，转速变化大，可采用带速度负反馈的闭环控制系统来解决该问题。

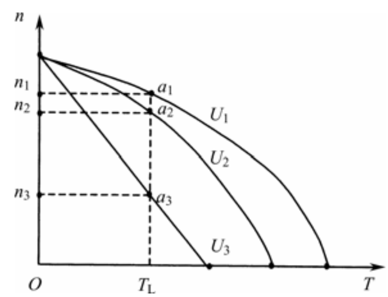


图 2.22　高转子电阻鼠笼型电动机调压调速

改变电源电压调速过去都采用定子绕组串电抗器来实现，目前已广泛采用晶闸管交流调压线路来实现。

2.5.4　转子串电阻调速

转子串电阻调速法只适用于绕线式异步电动机，属改变转差率 s 调速。

绕线式异步电动机转子串电阻的机械特性如图 2.23 所示。转子串电阻时最大转矩不变，临界转差率加大。所串电阻越大，则运行段机械特性的斜率越大。若带恒转矩负载，原

来运行在固有特性上的 a 点，转子串入电阻 R_1 后，就运行于 b 点，转速由 n_a 变为 n_b，依次类推。

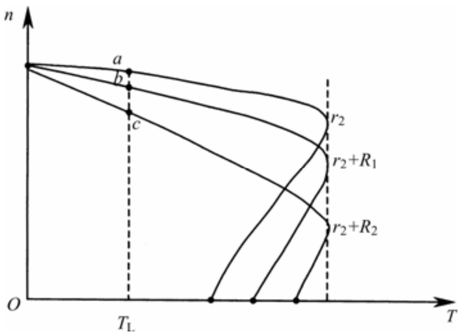


图 2.23　转子串电阻调速的机械特性

根据式（2.12）可知，转子串入电阻 R_1 前后有

$$\frac{r_1}{s_a}=\frac{r_2+R_1}{s_b}=\text{常数} \tag{2.13}$$

因而绕线式异步电动机转子串电阻调速时调速电阻的计算公式为

$$R_1=\left(\frac{s_b}{s_a}-1\right)r_2 \tag{2.14}$$

式中　s_a——转子串电阻前电机运行的转差率；

s_b——转子串入电阻 R_1 后新稳态时电机的转差率；

r_2——转子一相绕组电阻 $r_2=\dfrac{s_N E_{2N}}{\sqrt{3}I_{2N}}$。

如果已知转子串入的电阻值，要求调速后的电动机转速，则只要将式（2.13）稍加变换，先求出 s_b，再求转速 n_b。

由于在异步电动机中，电磁功率 P_M、机械功率 P_m 与转子铜损 p_{cu_2} 三者之间的关系为

$$P_M : P_m : p_{cu_2}=1:(1-s):s \tag{2.15}$$

若转速越低，转差率 s 越大，转子损耗越大，低速时效率不高。

转子串电阻调速的优点是方法简单，主要用于中、小容量的绕线式异步电动机，如桥式启动机等。

【例 2.6】 一台绕线式异步电动机：$P_N=75\text{kW}$，$n_N=1\,460\text{r/min}$，$U_{1N}=380\text{V}$，$I_{1N}=144\text{A}$，$E_{2N}=399\text{V}$，$I_{2N}=116\text{A}$，$\lambda=2.8$，试求：

① 转子回路串入 0.5Ω电阻，电机运行的转速为多少？

② 额定负载转矩不变，要求把转速降至 500r/min，转子每相应串入多大电阻？

解：① 额定转差率　$s_N=\dfrac{n_1-n}{n_1}=\dfrac{1\,500-1\,460}{1\,500}=0.027$

转子每相电阻　$r_2=\dfrac{s_N E_{2N}}{\sqrt{3}I_{2N}}=\dfrac{0.027\times 399}{\sqrt{3}\times 116}=0.053\,6\Omega$

当串入电阻 $R_1=0.5\Omega$ 时，电机此时转差率 s_b 为（由式 2.13）

$$s_b = \frac{r_2 + R_1}{R_1} s_N = \frac{0.0536 + 0.5}{0.5} \times 0.027 = 0.0299$$

转速　$n_b = (1 - s_b)n_1 = (1 - 0.0299) \times 1500 = 1455 \text{r/min}$

② 转子串电阻后转差率为

$$s_b' = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{1500 - 500}{1500} = 0.667$$

转子每相所串电阻（由式 2-14）

$$R_1 = \left(\frac{s_b'}{s_N} - 1\right) r_2 = \left(\frac{0.667}{0.027} - 1\right) \times 0.0536 = 1.27\Omega$$

2.5.5　串级调速

所谓串级调速，就是在异步电动机的转子回路串入一个三相对称的附加电势 $\dot{E}_f$，其频率与转子电势 $\dot{E}_{2S}$ 相同，改变 $\dot{E}_f$ 的大小和相位，就可以调节电动机的转速。它也适用于绕线式异步电动机，属改变转差率 s 调速。

1．低同步串级调速

若 $\dot{E}_f$ 与 $\dot{E}_{2S}$ 相位相反，则转子电流 I_2 为

$$I_2 = \frac{sE_{20} - E_f}{\sqrt{r_2^2 + (sx_2)^2}}$$

电动机的电磁转矩

$$\begin{aligned} T &= C_T \Phi_m I_2 \cos\phi_2 = C_T \Phi_m \frac{sE_{20} - E_f}{\sqrt{r_2^2 + (sx_2)^2}} \cdot \frac{r_2}{\sqrt{r_2^2 + (sx_2)^2}} \\ &= C_T \Phi_m \frac{sE_{20} r_2}{r_2^2 + (sx_2)^2} - C_T \Phi_m \frac{E_f r_2}{r_2^2 + (sx_2)^2} \\ &= T_1 + T_2 \end{aligned} \quad (2.16)$$

式中　T_1——转子电势产生的转矩；

T_2——附加电势所引起的转矩。

若拖动恒转矩负载，因 T_2 总是负值，可见串入 $\dot{E}_f$ 后，电磁转矩减小了，使电机转速降低。串入附加电势越大，转速降的越多。引入 $\dot{E}_f$ 后，使电机转速降低，称低同步串级调速。

2．超同步串级调速

若 $\dot{E}_f$ 与 $\dot{E}_{2S}$ 同相位，则 T_2 总是正值。当拖动恒转矩负载时，引入 $\dot{E}_f$ 后，导致转速升高了，则称为超同步串级调速。

串级调速性能比较好，过去由于附加电势 $\dot{E}_f$ 的获得比较难，长期以来没能得到推广。近年来，随着可控硅技术的发展，串级调速有了广阔的发展前景。现已广泛用于水泵和风机的节能调速，还应用于不可逆轧钢机、压缩机等生产机械。

2.6 三相异步电动机的反转与制动

2.6.1 三相异步电动机的反转

从三相异步电动机的工作原理可知，电动机的旋转方向取决于定子旋转磁场的旋转方向。因此只要改变旋转磁场的旋转方向，就能使三相异步电动机反转。图 2.24 所示是利用正反开关 S 来实现电动机正、反转的原理线路图。

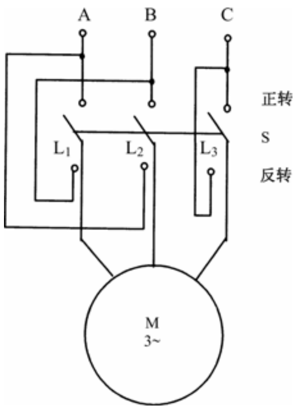


图 2.24 异步电动机正、反转原理

当 S 向上合闸时，L_1 接 A 相，L_2 接 B 相，L_3 接 C 相，电动机正转。当 S 向下合闸时，L_1 接 B 相，L_2 接 A 相，L_3 接 C 相，即将电动机任意两相绕组与电源接线互调，则旋转磁场反向，电动机跟着反转。

2.6.2 三相异步电动机的制动

电动机除了上述电动状态外，在下述情况运行时，则属于电动机的制动状态。

① 在负载转矩为位能转矩的机械设备中（例如起重机下放重物时，运输工具在下坡运行时），使设备保持一定的运行速度。

② 在机械设备需要减速或停止时，电动机能实现减速和停止。

三相异步电动机的制动方法主要有两类：机械制动和电气制动。机械制动是利用机械装置使电动机从电源切断后能迅速停转。它的结构有多种形式，应用较普遍的是电磁抱闸，它主要用于起重机械上吊重物时，使重物迅速而又准确地停留在某一位置上。

电气制动是使异步电动机所产生的电磁转矩和电动机的旋转方向相反。电气制动通常可分为能耗制动、反接制动和回馈制动三类。

1．能耗制动

方法：将运行着的异步电动机的定子绕组从三相交流电源上断开后，立即接到直流电源上，如图 2.25 所示，通过断开 QS_1、闭合 QS_2 来实现。

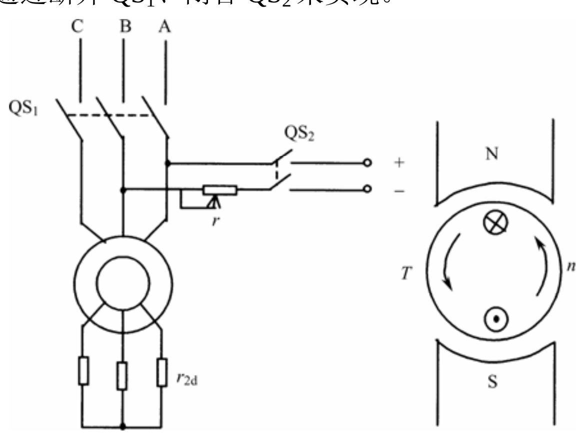


图 2.25 能耗制动原理图

当定子绕组通入直流电源，在电机中将产生一个恒定磁场。转子因机械惯性继续旋转时，转子导体切割恒定磁场磁力线，在转子绕组中产生感应电势和电流，转子电流和恒定磁场作用产生电磁转矩，根据右手定则可以判定电磁转矩的方向与转子转动的方向相反，为一制动转矩。在制动转矩作用下，转子转速迅速下降，当 $n=0$ 时，$T=0$ 制动过程结束。这种方法是将转子的动能转变为电能，消耗在转子回路的电阻上，所以称能耗制动。

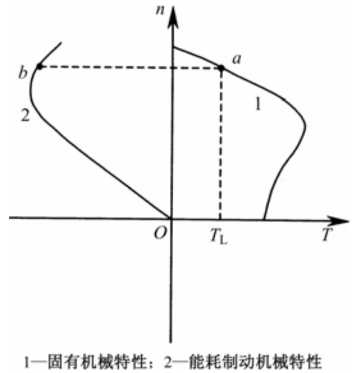


图 2.26　能耗制动机械特性图

如图 2.26 所示，电动机正向运行时工作在固有机械特性 1 上的 a 点。定子绕组改接直流电源后，因电磁转矩与转速反向，因而能耗制动时机械特性位于第 II 象限，如曲线 2。电机运行点也移至 b 点，并从 b 点顺曲线 2 减速到 0 点。

对于采用能耗制动的异步电动机，既要求有较大的制动转矩，又要求定、转子回路中电流不能太大而使绕组过热。根据经验，能耗制动时对鼠笼型异步电动机取直流励磁电流为 $(4\sim5)I_0$，对绕线式异步电动机取 $(2\sim3)I_0$。取制动所串电阻为 $R=(0.2\sim0.4)\dfrac{E_{2N}}{\sqrt{3}I_{2N}}$。

能耗制动的优点是制动力强，制动较平稳。缺点是需要一套专门的直流电源供制动用。

2．反接制动

反接制动分为电源反接制动和倒拉反接制动两种。

（1）电源反接制动。电源反接制动方法为：改变电动机定子绕组与电源的联结相序，如图 2.27 所示，断开 KM_1、接通 KM_2 即可。电源的相序改变，旋转磁场立即反转，而使转子绕组中感应电势、电流和电磁转矩都改变方向，因机械惯性，转子转向未变，电磁转矩与转子的转向相反，电机进行制动，称电源反接制动。

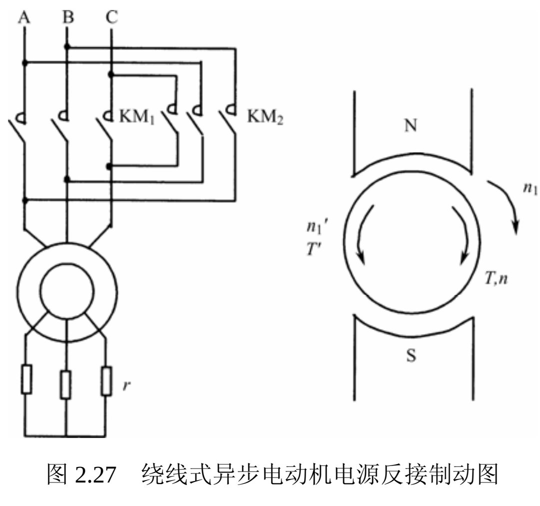


图 2.27　绕线式异步电动机电源反接制动图

如图 2.28 所示，制动前，电机工作在曲线 1 的 a 点，电源反接制动时，$n_1<0$，$n>0$ 相应的转差率 $s=\dfrac{-n_1-n}{-n_1}>1$，且电磁转矩 $T<0$，机械特性为曲线 2 所示。因机械惯性转速

瞬时不变，工作点由 a 点移至 b 点，并逐渐减速，到达 c 点时 $n=0$，此时切断电源并停车，如果是位能性负载得用抱闸，否则电机会反向启动旋转。一般为了限制制动电流和增大制动转矩，绕线式异步电动机可在转子回路串入制动电阻，其特性如曲线 3 所示，制动过程同上。

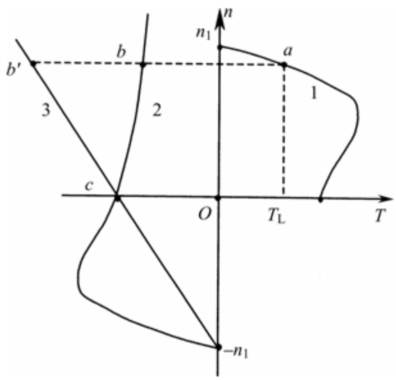


图 2.28　电源反接制动机械特性

制动电阻 R 的计算

$$R=\left(\frac{s'_{\rm m}}{s_{\rm m}}-1\right)r_2 \tag{2.17}$$

式中　$s_{\rm m}$——对应固有机械特性曲线的临界转差率

$$s_{\rm m}=s_{\rm N}(\lambda+\sqrt{\lambda^2-1})$$

$s'_{\rm m}$——转子串电阻后机械特性的临界转差率

$$s'_{\rm m}=s\left[\frac{\lambda T_{\rm N}}{T}+\sqrt{\left(\frac{\lambda T_{\rm N}}{T}\right)^2-1}\right]$$

s——制动瞬间电动机转差率。

【例 2.7】 一台 YR 系列绕线式异步电动机，$P_{\rm N}=20{\rm kW}$，$n_{\rm N}=720{\rm r/min}$，$E_{\rm 2N}=197{\rm V}$，$I_{\rm 2N}=74.5{\rm A}$，$\lambda=3$。如果拖动额定负载运行时，采用反接制动停车，要求制动开始时最大制动转矩为 $2T_{\rm N}$，求转子每相串入的制动电阻值。

解：① 计算固有机械特性的 $s_{\rm N}$，$s_{\rm m}$，r_2

$$s_{\rm N}=\frac{n_1-n_{\rm N}}{n_1}=\frac{750-720}{750}=0.04$$

$$s_{\rm m}=s_{\rm N}(\lambda+\sqrt{\lambda^2-1})=0.04\times(3+\sqrt{3^2-1})=0.233$$

$$r_2=\frac{s_{\rm N}E_{\rm 2N}}{\sqrt{3}I_{\rm 2N}}=\frac{0.04\times197}{\sqrt{3}\times74.5}=0.061\Omega$$

② 计算反接制动时转子串制动电阻的人为机械特性的 $s'_{\rm m}$

制动时瞬间转差率　$s=\dfrac{-n_1-n}{-n_1}=\dfrac{750+720}{750}=1.960$

$$s'_{\rm m}=s\left[\frac{\lambda T_{\rm N}}{T}+\sqrt{\left(\frac{\lambda T_{\rm N}}{T}\right)-1}\right]=1.96\times\left[\frac{3}{2}+\sqrt{\left(\frac{3}{2}\right)^2-1}\right]=5.131$$

③ 转子所串电阻 R 为

$$R=\left(\frac{s'_{\mathrm{m}}}{s_{\mathrm{m}}}-1\right)r_2=\left(\frac{5.131}{0.233}-1\right)\times 0.061=1.343\Omega$$

（2）倒拉反接制动。方法为：当绕线式异步电动机拖动位能性负载时，在其转子回路串入很大的电阻。其机械特性如图 2.29 所示。

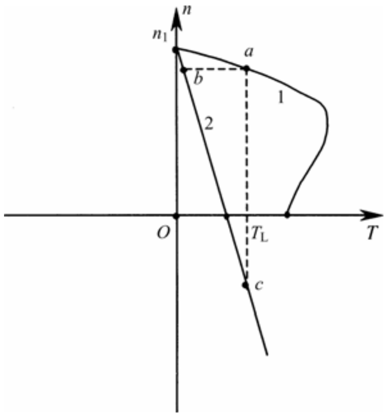


图 2.29　倒拉反接制动机械特性

当异步电动机提升重物，其工作点为曲线 1 上的 a 点。如果在转子回路串入很大的电阻，机械特性变为斜率很大的曲线 2，因机械惯性，工作点由 a 点移至 b 点，因此时电磁转矩小于负载转矩，转速下降。当电机减速至 $n=0$ 时，电磁转矩仍小于负载转矩，在位能负载的作用下，使电动机反转，直至电磁转矩等于负载转矩，电机才稳定运行于 c 点。因这是由于重物倒拉引起的，所以称为倒拉反接制动（或称倒拉反接运行），其转差率为

$$s=\frac{n_1-(-n)}{n_1}=\frac{n_1+n}{n_1}>1$$

与电源反接制动一样，都大于 1。

绕线式异步电动机倒拉反接制动状态，常用于起重机低速下放重物。

【例 2.8】 如例 2.7 的电动机负载为额定值，即 $T_{\mathrm{L}}=T_{\mathrm{N}}$。求：

① 电动机欲以 300r/min 下放重物，转子每相应串入多大的电阻？

② 当转子串入电阻为 $R=9r_2$，电动机转速多大？运行在什么状态？

③ 当转子串入电阻为 $R=39r_2$，电动机转速多大？运行在什么状态？

解： ① 通过例 2.7 可知，$r_2=0.061\Omega$

起重机下放重物，则 $n=-300\mathrm{r/min}<0, T=T_{\mathrm{L}}>0$，所以工作点位于第 IV 象限，如图 2.29 中 c 点。

$$s=\frac{n_1-n}{n_1}=\frac{750-(-300)}{750}=1.4$$

当 $T_{\mathrm{L}}=T_{\mathrm{N}}$ 时，$s_{\mathrm{N}}=0.04$

转子应串电阻

$$R=\left(\frac{s}{s_{\mathrm{N}}}-1\right)r_2=\left(\frac{1.4}{0.04}-1\right)\times 0.061$$

$$=2.074\Omega$$

② $R=9r_2$，$T_L=T_N$ 时的转差率为

$$s=\frac{R+r_2}{r_2}s_N=\frac{(9+1)r_2}{r_2}\times0.04=0.4$$

电动机转速 $n=n_1(1-s)=750\times(1-0.4)=450\text{r/min}>0$

工作点在第 I 象限，电动机运行于正向电动状态（提升重物）。

③ $R=39r_2$，此时的转差率为

$$s=\frac{R+r_2}{r_2}s_N=\frac{(39+1)r_2}{r_2}\times0.04=1.60$$

电动机转速 $n=n_1(1-s)=750\times(1-1.60)=-450\text{r/min}<0$

工作点在第 IV 象限，电动机运行于倒拉反接制动状态（下放重物）。

3．回馈制动

方法：使电动机在外力（如起重机下放重物）作用下，其电机的转速超过旋转磁场的同步转速，如图 2.30 所示。

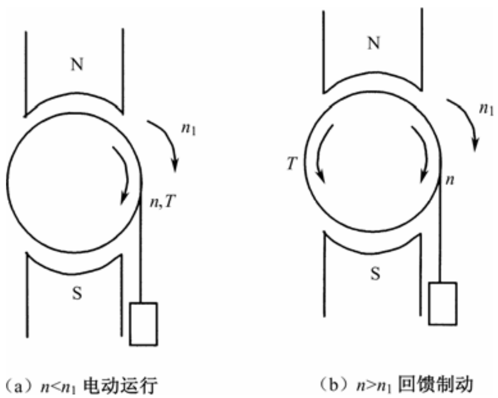


图 2.30 回馈制动原理

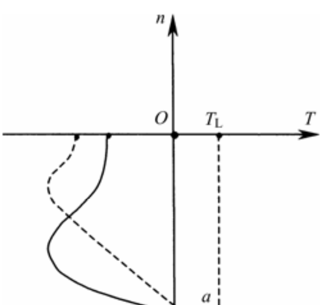


图 2.31 回馈制动机械特性

起重机下放重物，在下放开始时，$n<n_1$，电动机处于电动状态，如 2.30（a）所示。在位能转矩作用下，电机的转速大于同步转速时，转子中感应电势、电流和转矩的方向都发生了变化，如图 2.30（b）所示，转矩方向与转子转向相反，为制动转矩。此时电动机将机械能转变为电能馈送电网，所以称回馈制动。

制动时工作点如图 2.31 的 a 点所示，转子回路所串电阻越大，电机下放重物的速度越快，见图 2.31 中虚线所示 a' 点。为了限制下放速度过高，转子回路不应串入过大的电阻。

【例 2.9】 例 2.7 的电机，电动机轴上的负载转矩 $T_L=100\text{N}\cdot\text{m}$，假定电动机在下列两种情况下，以回馈制动状态运行，求下列两种情况下的特性。

① 电动机运行在固有机械特性上下放重物；

② 转子回路串入制动电阻 $R=0.112\Omega$。

解：① 电动机的额定转矩

$$T_N = 9\,550\frac{P_N}{n_N} = 9\,550 \times \frac{20}{720} = 265.3\text{N}\cdot\text{m}$$

当 $T_L = 100\text{N}\cdot\text{m}$，在固有机械特性上工作点的转差率（如图 2.31 中 a 点）

$$s = -\frac{T}{T_N}s_N = -\frac{100}{265.3}\times 0.04 = -0.015\,1$$

式中负号因是反向回馈制动状态。

电动机的转速为

$$n = (-n_1)(1-s) = (-750)\times(1+0.015\,1) = 761\text{r/min}$$

② 转子串入电阻后，工作点如图 2.31 中 a' 点。

$$s' = \frac{R+r_2}{r_2}\cdot s = \frac{0.112+0.061}{0.061}\times(-0.015\,1) = -0.042\,8$$

电动机的转速为

$$n = (-n_1)(1-s) = (-750)\times(1+0.042\,8) = -782\text{r/min}$$

2.6.3　三相异步电动机运行状态小结

1．机械特性

为便于理解，现将三相异步电动机各种运行状态的机械特性画于一张图中，如图 2.32 所示。

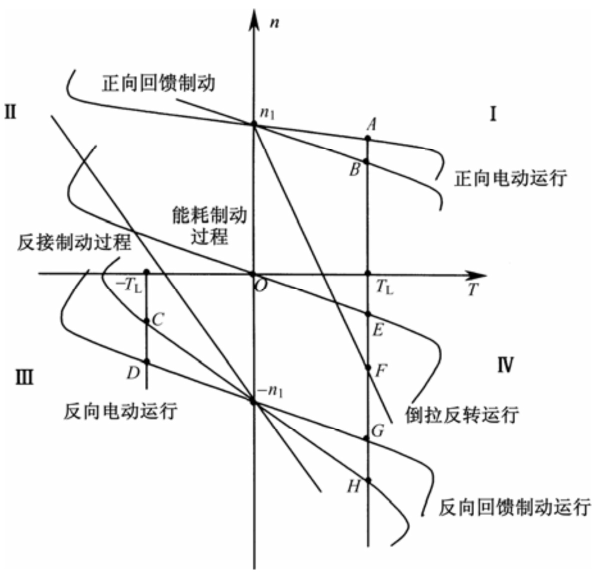


图 2.32　绕线式三相异步电动机的各种运行状态

2．各种运行状态时的转差率s的数值范围

电动运行状态：$0<s<1$；

反接制动状态：$s>1$；

回馈制动状态：$s<0$。

2.7 三相异步电动机故障分析及维护

2.7.1 启动前的准备

对新安装或久未运行的电动机，在通电使用之前必须先做下列检查，以验证电动机能否通电运行。

1．安装检查

要求电动机装配灵活、螺栓拧紧、轴承运行无阻、联轴器中心无偏移等。

2．绝缘电阻检查

要求用兆欧表检查电动机的绝缘电阻，包括三相相间绝缘电阻和三相绕组对地绝缘电阻，测得的数值一般不小于 10MΩ。

3．电源检查

一般当电源电压波动超出额定值+10%或−5%时，应改善电源条件后投运。

4．启动、保护措施检查

要求启动设备接线正确（直接启动的中小型异步电动机除外），电动机所配熔丝的型号合适，外壳接地良好。

在以上各项检查无误后，方可合闸启动。

2.7.2 启动时的注意事项

（1）合闸后，若电机不转，应迅速、果断地拉闸，以免烧毁电机。

（2）电机启动后，应注意观察电机，若有异常情况，应立即停机。待查明故障并排除后，才能重新合闸启动。

（3）鼠笼型电动机采用全压启动时，次数不宜过于频繁，一般不超过 3～5 次。对功率较大的电机要随时注意电动机的温升。

（4）绕线式电动机启动前，应注意检查启动电阻是否接入。接通电源后，随着电动机转速的提高而逐渐切除启动电阻。

（5）几台电动机由同一台变压器供电时，不能同时启动，应由大到小逐台启动。

2.7.3 运行中的监视

对运行中的电动机应经常检查它的外壳有无裂纹，螺丝是否有脱落或松动，电动机有无异响或振动等。监视时，要特别注意电动机有无冒烟和异味出现，若嗅到焦糊味或看到冒烟，必须立即停机检查处理。

对轴承部位，要注意它的温度和响声。温度升高，响声异常则可能是轴承缺油或摩损。

联轴器传动的电动机，若中心校正不好，会在运行中发出响声，并伴随着发生电动机振动和联轴节螺栓胶垫的迅速磨损。这时应重新校正中心线。皮带传动的电动机，应注意皮带

不应过松而导致打滑，但也不能过紧而使电动机轴承过热。

在发生以下严重故障情况时，应立即停机处理：

（1）人身触电事故；

（2）电动机冒烟；

（3）电动机剧烈振动；

（4）电动机轴承剧烈发热；

（5）电动机转速迅速下降，温度迅速升高。

2.7.4　电动机的定期维修

异步电动机定期维修是消除故障隐患、防止故障发生的重要措施。电动机维修分月维修和年维修，俗称小修和大修。前者不拆开电动机，后者需把电动机全部拆开进行维修。

1．定期小修主要内容

定期小修是对电动机的一般清理和检查，应经常进行。小修内容包括以下项目。

（1）擦拭电动机外壳，除掉运行中积累的污垢。

（2）测量电动机绝缘电阻，测后注意重新接好线，拧紧接线头螺丝。

（3）检查电动机端盖、地脚螺丝是否紧固。

（4）检查电动机接地线是否可靠。

（5）检查电动机与负载机械间的传动装置是否良好。

（6）拆下轴承盖，检查润滑是否变脏、干涸，及时加油或换油。处理完毕后，注意上好端盖及紧固螺丝。

（7）检查电动机附属启动和保护设备是否完好。

2．定期大修主要内容

异步电动机的定期大修应结合负载机械的大修进行。大修时，拆开电动机进行以下项目的检查修理。

（1）检查电动机各部件有无机械损伤，若有则应进行相应修复。

（2）对拆开的电动机和启动设备，进行清理，清除所有油泥、污垢。清理中注意观察绕组绝缘状况。若绝缘为暗褐色，说明绝缘已经老化，对这种绝缘要特别注意不要碰撞使它脱落。若发现有脱落就进行局部绝缘修复和刷漆。

（3）拆下轴承，浸在柴油或汽油中彻底清洗。把轴承架与钢珠间残留的油脂及脏物洗掉后，用干净柴（汽）油清洗一遍。清洗后的轴承转动灵活，不松动。若轴承表面粗糙，说明油脂不合格；若轴承表面变色（发蓝）则它已经退火。根据检查结果，对油脂或轴承进行更换，并消除故障原因（如清除油中砂、铁屑等杂物，正确安装电机等）。

轴承新安装时，加油应从一侧加入。油脂占轴承内容积 1/3～2/3 即可。油加得太满会发热流出。润滑油可采用钙基润滑脂或钠基润滑脂。

（4）检查定子绕组是否存在故障。使用兆欧表测绕组电阻可判断绕组绝缘是否受潮或是否有短路。若有，应进行相应处理。

（5）检查定、转子铁心有无磨损和变形，若观察到有磨损处或发亮点，说明可能存在定、转子铁心相擦。应使用锉刀或刮刀把亮点刮低。若有变形应做相应修复。

（6）在进行以上各项修理、检查后，对电动机进行装配、安装。

（7）安装完毕的电动机，应进行修理后检查，符合要求后，方可带负载运行。

2.7.5 常见故障及排除方法

异步电动机的故障可分机械故障和电气故障两类。机械故障如轴承、铁心、风叶、机座转轴等的故障，一般比较容易观察与发现。电气故障主要是定子绕组、转子绕组、电刷等导电部分出现的故障。电动机不论出现机械故障或电气故障都将对电动机的正常运行带来影响，故障处理的关键是通过电动机在运行中出现的种种不正常现象来进行分析，从而找到电动机的故障部位与故障点。由于电动机的结构、型号、质量、使用和维护情况的不同，要正确判断故障，必须先进行认真细致的研究、观察和分析，然后进行检查与测量，找出故障所在，并采取相应的措施予以排除。检查电动机故障的一般步骤如下。

1．调查

首先了解电机的型号、规格、使用条件及年限，以及电机在发生故障前的运行情况，如所带负荷的大小、温升高低、有无不正常的声音、操作使用情况等。并认真听取操作人员的反映。

2．查看

查看的方法要根据电机故障情况灵活掌握，有时可以把电动机接上电源进行短时运转，直接观察故障情况再进行分析研究。有时电机不能接电源，可通过仪表测量或观察来进行分析判断，然后再把电机拆开，测量并仔细观察其内部情况，找出其故障所在。

异步电动机常见的故障现象，产生故障的可能原因及故障处理方法如表 2.1 所示。

表 2.1 异步电动机的常见故障及排除方法

故障现象	造成故障的可能原因	处理方法
电源接通后电动机不启动	① 定子绕组接线错误 ② 定子绕组断路、短路或接地，绕线电机转子绕组断路 ③ 负载过重或传动机构被卡住 ④ 绕线式电动机转子回路断线（电刷与滑环接触不良，变阻器断路，引线接触不良等） ⑤ 电源电压过低	① 检查接线，纠正错误 ② 找出故障点，排除故障 ③ 检查传动机构及负载 ④ 找出断路点，并加以修复 ⑤ 检查原因并排除
电动机温升过高或冒烟	① 负载过重或启动过于频繁 ② 三相异步电动机断相运行 ③ 定子绕组接线错误 ④ 定子绕组接地或匝间、相间短路 ⑤ 鼠笼型电动机转子断条 ⑥ 绕线式电动机转子绕组断相运行 ⑦ 定子、转子相擦 ⑧ 通风不良 ⑨ 电源电压过高或过低	① 减轻负载、减少启动次数 ② 检查原因，排除故障 ③ 检查定子绕组接线，加以纠正 ④ 查出接地或短路部位，加以修复 ⑤ 铸铝转子必须更换，铜条转子可修理或更换 ⑥ 找出故障点，加以修复 ⑦ 检查轴承、转子是否变形，进行修理或更换 ⑧ 检查通风道是否畅通，对不可反转的电机检查其转向 ⑨ 检查原因并排除

续表

故 障 现 象	造成故障的可能原因	处 理 方 法
电机振动	① 转子不平衡 ② 皮带轮不平稳或轴弯曲 ③ 电机与负载轴线不对 ④ 电机安装不良 ⑤ 负载突然过重	① 校正平衡 ② 检查并校正 ③ 检查、调整机组的轴线 ④ 检查安装情况及底脚螺栓 ⑤ 减轻负载
运行时有异声	① 定子转子相擦 ② 轴承损坏或润滑不良 ③ 电动机两相运行 ④ 风叶碰机壳等	① 检查轴承、转子是否变形，进行修理或更换 ② 更换轴承，清洗轴承 ③ 查出故障点并加以修复 ④ 检查交消除故障
电动机带负载时转速过低	① 电源电压过低 ② 负载过大 ③ 鼠笼型电动机转子断条 ④ 绕线电动机转子绕组一相接触不良或断开	① 检查电源电压 ② 核对负载 ③ 铸铝转子必须更换，铜条转子可修理或更换 ④ 检查电刷压力，电刷与滑环接触情况及转子绕组
电动机外壳带电	① 接地不良或接地电阻太大 ② 绕组受潮 ③ 绝缘有损坏，有脏物或引出线碰壳	① 按规定接好地线，消除接地不良处 ② 进行烘干处理 ③ 修理，并进行浸漆处理，消除脏物，重接引出线

2.8　三相异步电动机的拆装

三相异步电动机的拆装是电动机检查、清洗、修理的必要步骤，如果拆卸不当，就会把零部件及装配位置弄错，给使用造成困难。因此，电动机的拆装训练十分必要。

2.8.1　异步电动机的拆卸

在拆卸前，应准备好各种工具，做好拆卸前的记录和检查工作，在线头、端盖、刷握等处做好标记，以便于修复后的装配。中小型异步电动机的拆卸步骤如图 2.33 所示。

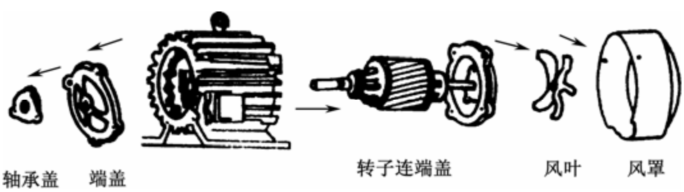


图 2.33　小型异步电动机的拆卸步骤

（1）拆除电动机的所有引线。

（2）拆卸皮带轮或联轴器。先将皮带轮或联轴器上的固定螺丝钉或销子松脱或取下，再用专用工具“拉马”转动丝杠，把皮带轮或联轴器慢慢拉出。

（3）拆卸风扇或风罩。拆卸皮带轮后，就可把风罩卸下来。然后取下风扇上定位螺栓，用锤子轻敲风扇四周，旋卸下来或从轴上顺槽拔出，卸下风扇。

（4）拆卸轴承盖和端盖。一般小型电动机都只拆风扇一侧的端盖。

（5）抽出转子。鼠笼型转子可直接从定子腔中抽出。

一般电动机，都可依照上述方法和步骤，由外到内顺序拆卸，对有特殊结构的电机来说，应依具体情况酌情处理。

当电动机容量很小或电动机端盖与机座配合很紧不易拆下时，可用榔头（或在轴的前端垫上硬木块）敲，使后端盖与机座脱离，把后端盖连同转子一同抽出机座。

2.8.2 电动机的装配

电动机的装配工序大体与拆卸顺序相反，装配时要注意各部分零部件的清洁，定子内绕组端部，转子表面都要吹刷干净，不能有杂物。

（1）定子部分。主要是定子绕组的绕制、嵌放、连接等程序。

（2）安放转子。安放转子要特别小心，以免碰伤定子绕组。

（3）加装端盖。装端盖时，可用木锤均匀敲击端盖四周，按对角线均匀对称地拧紧螺钉，不要一次拧到底。端盖固定后，用手转动电动机的转子，应灵活、均匀、无停滞或偏轴现象。

（4）装风扇和风罩。

（5）接好引线，装好接线盒及铭牌。

下面以三相异步电动机定子绕组嵌线工艺为例进行讲解。

【例 2.10】 有一台三相异步电动机，定子槽数 Z_1=24 槽，磁极数 2p=4，每槽匝数为 100 匝，单层，60° 相带，跨距采用短距式，绕组节距 y=5。

解：从以上已知条件可知：相数 m=3，每极每相槽数 q=2，槽距角α=30°。

（1）按相带顺序列出各相所属槽号，如表 2.2 所示。

表 2.2 定子槽分配表

相　序	U_1	W_2	V_1	U_2	W_1	V_2
N_1　S_1	1，2	3，4	5，6	7，8	9，10	11，12
N_2　S_2	13，14	15，16	17，18	19，20	21，22	23，24

（2）画出绕组展开图。如图 2.34 所示，该电机需 12 只绕组，每相 4 只，并且在接线时每相绕组按尾与尾相连、头与头相连的原则接线。

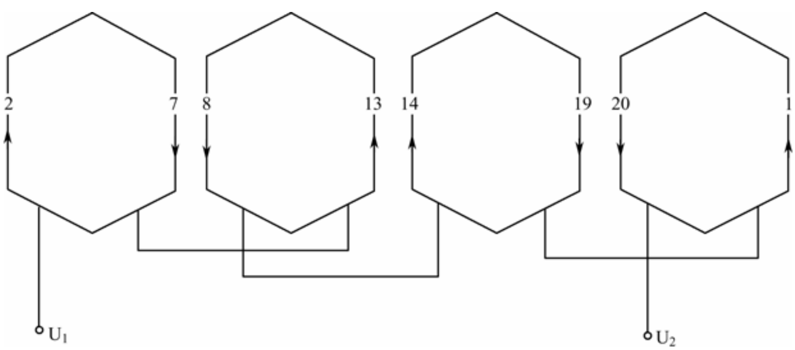


图 2.34 三相异步电动机绕组展开图（U 相）

（3）绕制线圈。

① 制作绕线模。定子线圈是在绕线模上绕制而成的。绕线模由芯板和上下夹板组成，

如图 2.35 所示。线模的尺寸根据电动机的型号，可以在电工手册等有关技术资料中查到，也可以从拆下完整绕组中，取其中最小的一匝，参考它的形状及周长作为制模尺寸。线模制作完成后，应先绕一圈线组试嵌。

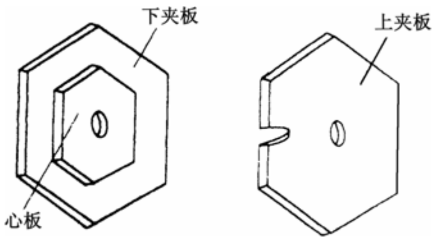


图 2.35　双层叠绕组线模

② 线圈绕制。首先要仔细检查电磁线牌号、规格、绝缘厚度公差是否符合规定；检查绕线机运行情况是否良好，并放好绕线模，调好计圈器。然后在绕线模上放好卡紧布带，将引线排在右手边，然后由右向左开始绕线。注意绕制时要用毛毡浸石蜡的压板将电磁线夹紧，绕线时拉力要适当，导线排列要整齐，避免交叉混乱；匝数要准确；同时，必须保护导线的绝缘不受损坏。最后，检查绕制好的线圈的尺寸、匝数，并用布带将两个直线边扎紧，以免松散。

（4）嵌线工艺。线圈绕完以后，开始嵌线工作。嵌线就是根据绕组设计要求把一个个线圈嵌放进定子槽内，组成整个绕组。嵌线质量如何，直接影响到电机是否能达到规定的技术要求，所以嵌线工序是整个嵌制绕组中最重要的一环。一般电机的嵌线工艺流程是，准备绝缘材料→放置槽绝缘→嵌线→封槽口→端部整形。

① 绝缘的选用：电动机的绝缘是决定电动机使用寿命的重要因素，因此必须正确地选用和放置绝缘材料。

异步电动机定子绕组绝缘分为槽绝缘、相绝缘和层间绝缘三种。槽绝缘用于槽内，是绕组与铁心之间的绝缘；相绝缘又称端部绝缘，用于绕组端部两个绕组之间的绝缘；层间绝缘用于双层绕组上下层之间的绝缘。

绝缘材料是根据电动机的绝缘等级和电压等级来选择主绝缘材料，并配以适当的补强材料，以保护主绝缘材料不受机械损伤。常用的补强材料有青壳纸，主绝缘材料有聚脂薄膜、漆布等。

选用绝缘材料时，主绝缘材料和引出线，套管、绑线、浸渍漆等应为同一绝缘等级，彼此配套使用。

② 槽绝缘的裁剪与放置。根据电动机的绝缘等级，选择好合适的绝缘材料后，再根据具体需要对绝缘材料进行裁剪和放置。槽绝缘的长度根据电动机容量而定。太长则需增加线圈直线部分的长度，既浪费绝缘材料和导线，又易造成端盖损伤导线的故障；太短则绕组与铁心的安全距离不够，使得端部相绝缘很难与槽绝缘衔接，造成嵌放端部相绝缘的困难。考虑到定子槽两端绝缘最容易损坏，一般将伸出铁心槽外部分的绝缘材料尺寸加倍折回，使槽外部分成为双层，以增强槽口绝缘。槽绝缘的结构形式如图 2.36 所示。

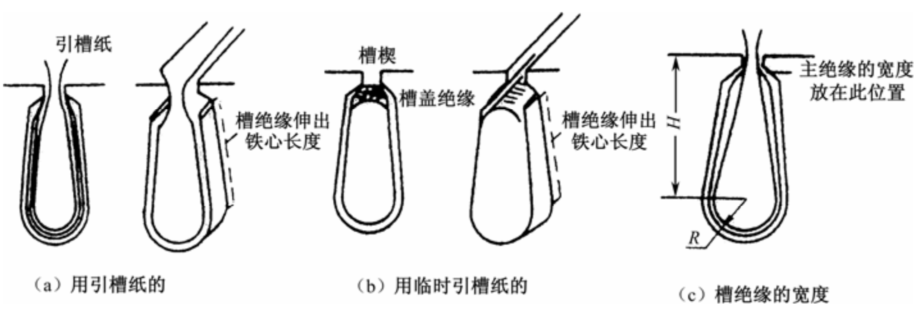
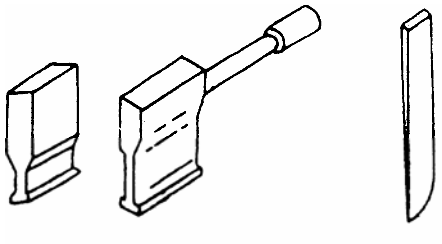


图 2.36　电动机槽绝缘的结构形式

③ 嵌线工具。在嵌线过程中，必须有专用工具，才能保证嵌线质量，提高工作效率。常用的工具有：榧（木榧和小铁锤）、压线板、理线板（划线板）、剪刀、夹嘴钳等。其中压线板和理线板如图 2.37 所示。



（a）压线板　　（b）理线板

图 2.37　电动机槽绝缘的结构形式

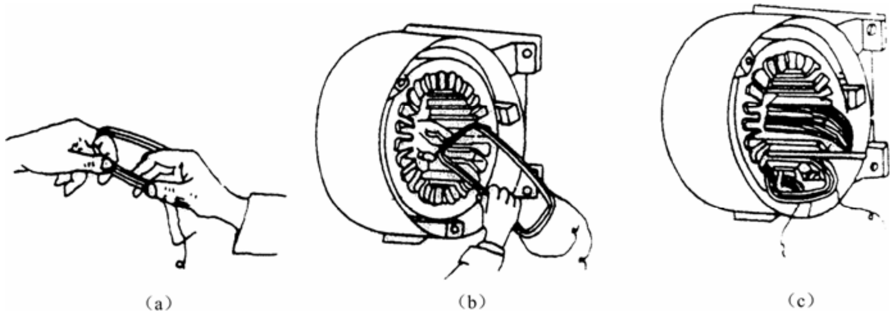
a）理线板。理线板的用途：一是嵌线圈时把导线划进铁心槽；二是用来整理已嵌进槽中的导线。理线板可用毛竹或层压塑料板在砂轮上自己磨削制作。一般长约 15cm～20cm，宽大约 1.0cm～1.5cm，厚约 3mm。头端略尖，一端稍薄些，如刺刀形，表面需光滑。

b）压线板。压线板用来压紧线圈边和把高于槽的绝缘材料压倒并覆盖在线圈的上部，以便再穿入槽楔。压线板的压脚宽度一般为槽上部的宽度减去 0.6mm～0.7mm。压线板应光滑，以免在使用时损坏绝缘。

c）嵌线工艺。嵌线工艺的关键是保证绕组的位置和次序正确、绝缘良好。为使线圈按照正确的位置和次序嵌入定子槽内，嵌线前需清楚电机的极数、线圈节距、绕组形式和接线方法等，并检查槽绝缘放置是否合格，槽内是否清洁，要防止铁屑、油污、灰尘等物粘在绝缘材料和导线上，以保证嵌线质量。

为了防止嵌线时线圈发生错乱，习惯上把电动机空壳定子有出线孔的一侧放在右手侧。嵌线时，也应注意将所有线圈的引出线从定子腔的出线孔一侧引出。

嵌线时，以出线盒为基准来确定第一槽的位置。嵌线前先用右手把要嵌的线圈一条边捏扁，用左手捏住线圈的一端，向相反方向扭转，使线圈的槽外部分略带扭纹形，否则线圈容易松散。线圈边捏扁后放到槽口的槽绝缘中间，左手捏住线圈朝里插入槽内。如槽内不用引槽纸，应在槽口临时衬两张薄膜绝缘纸，以保护导线绝缘层不被槽口擦伤，进槽后，再取出薄膜绝缘纸。具体操作如图 2.38 所示。如果线圈边捏得好，一次就可以把大部分导线拉入槽内，剩下少数导线可用理线板划入槽内。导线进槽应按线圈的绕制顺序，不要使导线交叉



（a）　（b）　（c）

图 2.38　嵌线方法

错乱，槽内部分必须整齐平行，否则影响全部导线的嵌入，而且会造成导线间相擦而损伤绝缘。嵌线时，还要注意槽内绝缘是否偏移到一侧，防止露出的铁心与导线相碰，造成绕组接地故障。

嵌好一个线圈的一条线圈边后，另一条线圈边暂行吊起来在下面垫一张纸，以免线圈边与铁壳相碰而擦伤绝缘。嵌好以后，再依次嵌入其他绕组，直到嵌完为止。

在实际嵌线过程中，把最初安放的两个线圈称为起把线圈，要求隔槽放置。当嵌绕组的另一边时，称为覆槽。嵌线前，将绕组分三等份放好，依次为 U，W，V 三相。嵌线次序如下。

d）选好第一槽位置，嵌 U 相一只绕组的一条有效边，另一有效边暂时不嵌，此过程简称为嵌 U1 槽。

e）隔一槽，即在第三槽，嵌 W 相绕组的一条边，另一边仍暂不嵌，称为嵌 W3 槽。

f）再隔一槽，即在第五槽，嵌 V 相绕组的一条边，即 V5 槽，然后将另一边覆入 24 槽。称为嵌 V5 槽，覆 24 槽。

g）接着嵌线次序为：嵌 U7 槽；覆 2 槽，嵌 W9 槽—覆 4 槽，嵌 V11 槽—覆 6 槽，嵌 U13 槽—覆 8 槽，嵌 W15—覆 10 槽，嵌 V17 槽—覆 12 槽，嵌 U19 槽—覆 14 槽，嵌 W21 槽—覆 16 槽，嵌 V23 槽—覆 18 槽，最后将开头两只起把线圈的另一条有效边分别进行覆槽，将 U1 绕组覆入 20 槽，将 W3 绕组覆入 22 槽，这样，嵌线即告完毕。

嵌线时需注意：绕组端部引线须放在一侧，同时边嵌线边放好相绝缘。

（5）放绕组端部隔相绝缘。相间绝缘是使不同相的相邻两组线圈端部相互绝缘，也叫“隔相”。绝缘材料与槽绝缘的相同。相间绝缘应与层间绝缘重叠一定长度，并与槽绝缘紧密相连，以免造成相间击穿。

为保证三相绕组间的绝缘，在线圈组（极相组）间必须隔一层隔相纸。一般用 0.25mm 厚的薄膜青壳纸。隔相纸的形状、尺寸根据线圈端部的形状大小而言，一般单层绕组隔相纸的形状为近半圆环的一半。

相间绝缘是在线圈全部嵌好后插进，也可在嵌线过程中插放。插绝缘纸前，先用划线板插入不同相的两个线圈间稍微撬开一些，然后将隔相纸插入，一直插到底。必须注意检查：是否有导线漏隔到另一相线圈边。

隔相纸垫好后，最好测量一次每相线圈或极相组的对地绝缘电阻，以及各相邻两组线圈间的绝缘电阻，以便及时发现故障隐患，避免将来拆检的麻烦。新嵌绕组的对地绝缘电阻一般应在 100MΩ以上，最小不得低于 50MΩ。

（6）封槽口。嵌线完毕后，把高出槽口的绝缘材料齐槽口剪平，把线压实，穿入盖槽纸，从一端把槽楔打入。槽楔用来压住槽内导线，防止绝缘和导线松动。槽楔一般用竹制成，也可用玻璃层布板做。竹槽楔应十分干燥并用变压器油煮透。槽楔长度一般比槽绝缘短 2mm～3mm，其端面呈梯形，厚度为 3mm 左右，两端的棱角应该去掉。同槽绝缘接触的一面要光滑，以免在槽楔插入槽内时损坏槽绝缘。

（7）端部整形。线圈全部嵌完后，用橡皮锤将端部向外敲打，成为喇叭状，如图 2.39 所示。喇叭口的大小要合适，口过小影响通风散热，放入转子也困难；口过大，使端部与机壳太近，影响绝缘。另外，喇叭口打成后要检查一下

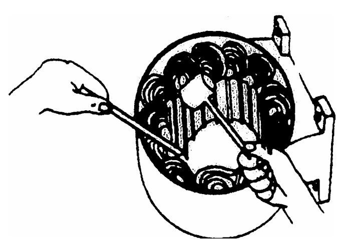


图 2.39　把线圈端部敲成喇叭口

相间绝缘，若在敲打中，绝缘破裂或位移，应补修。

整形后，连引出线用扎线或布带统一绑扎好。

（8）端部接线。绕组连接工作包括：当嵌线完成后把每个线圈元件按 q 值和线圈分配规律接成极相组，然后再把属于同相的极相组进行串联、并联和混联接成相绕组，再将三相绕组接成△形或 Y 形接线，最后将三相六根引出线接在出线盒的接线板上。

有时在绕制单层绕组时，中间不剪断，一直把一相的所有线圈绕完（如嵌线工艺所需线圈），这时线圈的连接不经过极相组的连接，直接将三相绕组接成△形或 Y 形接法。

线头的连接一般采用绞接法。

端部绕组连接整理要注意如下几点：

① 将过桥线及引线在绕组端部排列整齐；

② 套好绝缘套管后，与端部绕组一起包扎，小型电机的全部接线可布置在端部绕组的外侧；

③ 在布置引线位置时，要考虑出线口位置。

对大型电机、线头要采用焊接法，主要是锡焊。锡焊剂是松香、酒精溶液，以保证施焊过程中使氧化铜还原为铜，防止从外界浸入气体而氧化。焊锡膏有腐蚀性，焊后需擦净。禁止在电工焊接中使用盐酸。

对铬铁焊的要求是：

a）防止熔锡流入线圈内部；

b）防止焊接时间过长烧损线头附近绝缘。

（9）绕组的绝缘浸漆与烘干处理。电机嵌完线后，为保证质量需进行浸漆烘干处理。其主要作用是提高防潮能力，增强电气绝缘强度。因绝缘漆的热传导能力比空气大得多，浸漆可增加绕组的散热效果及绕组的机械强度。

2.8.3 装配后的检查

（1）检查机械部分的装配质量。包括所有紧固螺钉是否拧紧，转子转动是否灵活，无扫膛、无松动，轴承是否有杂声等。

（2）测量绕组的绝缘电阻。检测三相绕组每相对地的绝缘电阻和相间绝缘电阻，其阻值不得小于 0.5MΩ。

（3）按铭牌要求接好电源线，在机壳上接好保护接地线，接通电源，用钳形电流表检测三相空载电流，看是否符合允许值。

（4）电动机温升是否正常，运转中有无异响。

2.8.4 三相异步电动机定子绕组首、尾端的判别

当电动机接线板损坏，定子绕组的六个线头分不清楚时，不可盲目接线，以免引起电动机内部故障，因此必须分清 6 个线头的首、尾端后才能接线。

1．用 36V交流电源和灯泡判别首、尾端

判别时的接线方式如图 2.40 所示，判别步骤如下所述。

① 用摇表和万用表的电阻挡，分别找出三相绕组的各相两个线头。

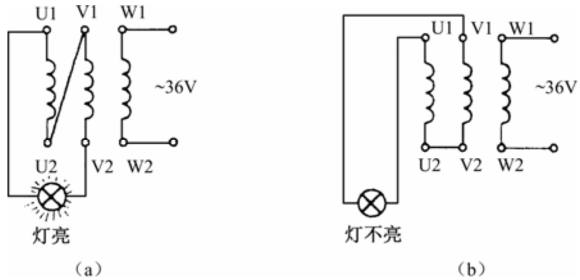


图 2.40　用 36V 交流电源和灯泡判别首、尾端

② 先任意给三相绕组的线头分别编号为 U1 和 U2，V1 和 V2，W1 和 W2。并把 V1，U2 连接起来，构成两相绕组串联。

③ U1，V2 线头上接一只灯泡。

④ W1，W2 两个线头上接通 36V 交流电源，如果灯泡发亮，说明线头 U1，U2 和 V1，V2 的编号正确。如果灯泡不亮，则把 U1，U2 或 V1，V2 中任意两个线头的编号对调一下即可。

⑤ 再按上述方法对 W1，W2 两线头进行判别。

2．用万用表或微安表判别首、尾端

（1）方法一

① 用摇表或万用表的电阻挡，分别找出三相绕组的各相两个线头。

② 给各相绕组假设编号为 U1 和 U2，V1 和 V2，W1 和 W2。

③ 如图 2.41 所示接线，用手转动电动机转子，如万用表（微安挡）指针不动，则证明假设的编号是正确的；若指针有偏转，说明其中有一相首、尾端假设编号不对。应逐相对调重测，直至正确为止。

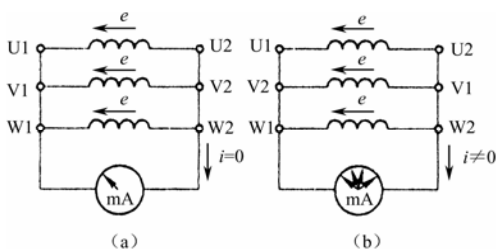


图 2.41　用万用表判别首、尾端方法之一

（2）方法二

① 分清三相绕组各相的两个线头，并将各相绕组端子假设为 U1 和 U2，V1 和 V2，W1 和 W2，如图 2.42 所示。

② 注视万用表（微安挡）指针摆动的方向，合上开关瞬间，若指针摆向大于零的一边，则接电池正极的线头与万用表负极所接的线头同为首端或尾端；如指针反向摆动，则接电池正极的线头与万用表正极所接的线头同为首端或尾端。

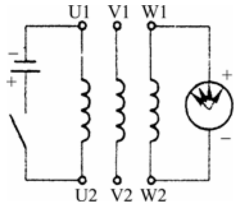


图 2.42　用万用表判别首尾端方法之二

③ 再将电池和开关接另一相两个线头，进行测试，就可正确判别各相的首尾端。

图中的开关可用按钮开关。

【内容检核】

（1）三相异步电动机的基本工作原理。三相交流电通入三相定子绕组，产生旋转磁场，与转子绕组产生切割运动，使转子绕组感应电流，产生电磁转矩。旋转磁场与转子转速不等，用转差率 s 来表示。

（2）三相异步电动机机械特性。三相异步电动机的电磁转矩是转子电流与主磁通作用产生的。电磁转矩的参数表达式为

$$T=\frac{3pU_1^2\dfrac{r_2'}{s}}{2\pi f_1\left[\left(r_1+\dfrac{r_2'}{s}\right)^2+\left(x_1+x_2'\right)^2\right]}$$

参数表达式可分析参数变化对电动机运行性能的影响。

三相异步电动机的机械特性，即 $n=f(T)$ 或 $T=f(s)$ 间的函数关系。机械特性分固有特性和人为特性。前者是在额定电压、额定频率下，按规定方式接线，定、转子外接电阻为零时的机械特性。要掌握机械特性曲线的大致形状及其三个特殊点：启动点 $s=1$，$T=T_s$；临界点 $s=s_m=0.1\sim0.2$，$T=T_m=(1.6\sim2.2)T_N$；同步点 $s=0$，$T=0$。

人为机械特性是人为改变电源参数或改变电机参数而得到的机械特性。电压降低的机械特性，转矩随电压平方倍降低。转子串电阻的机械特性，临界转差率 s_m 随所串电阻的加大而加大，最大转矩 T_m 不变。

（3）三相异步电动机的启动。衡量异步电动机启动性能，最主要的指标是启动电流和启动转矩。异步电动机直接启动时，启动电流大，一般为额定电流的 4～7 倍。因启动时功率因数低，启动电流虽然很大，但启动转矩却不大。

小容量的异步电动机，要直接启动，必须满足下述经验公式

$$\frac{I_s}{I_e}\leqslant\frac{1}{4}\left[3+\frac{\text{电源总容量}(\text{kV}\cdot\text{A})}{\text{电动机额定功率}(\text{kW})}\right]$$

三角形接线的异步电动机，在空载或轻载启动时，可以采取 Y—△启动，启动电流和启动转矩都减小三倍。负载比较重的，可采用自耦变压器启动，自耦变压器有抽头可供选择。绕线式异步电动机转子串电阻启动，启动电流比较小，而启动转矩比较大，启动性能好。若把异步电动机的机械特性线性化，启动电阻的计算方法与并励直流电动机相同。

（4）三相异步电动机的调速。异步电动机的调速有三种方法，即变极、变频和改变转差率。变极调速是改变半相绕组中的电流方向，使极对数成倍的变化，可制成多速电动机。变频调速是改变频率从而改变同步转速进行调速，调频的同时电压要相应地变化。改变转差

率调速，主要有转子串电阻调速和串级调速。

（5）三相异步电动机的制动。制动即电磁转矩方向与转子转向相反，电磁制动分为能耗制动、反接制动、回馈制动。制动时的机械特性位于第Ⅱ和第Ⅳ象限。



思考与练习

1．简述三相异步电动机的工作原理。

2．分析三相异步电动机的每种参数变化时如何影响最大转矩。

3．一般三相异步电动机的启动转矩倍数、最大转矩倍数、临界转差率及额定转差率的大致范围是什么？

4．一台三相异步电动机当转子回路的电阻增大时，对电动机的启动电流、启动转矩和功率因数带来什么影响？

5．两台三相异步电动机额定功率都是 P_N=40kW，而额定转速分别为 n_{N1}=2 960r/min，n_{N2}=1 460r/min，求对应的额定转矩为多少？说明为什么这两台电动机的功率一样但在轴上产生的转矩却不同。

6．一台三相八极异步电动机数据为：额定容量 P_N=260kW，额定电压 U_N=380V，额定频率 f_N=50Hz，额定转速 n_N=722r/min，过载能力λ=2.13。求：

① 额定转差率；② 最大转矩对应的转差率；③ 额定转矩；④ 最大转矩；⑤ s=0.02 时的电磁转矩。

7．一台三相六极鼠笼型异步电动机，定子绕组为 Y 形。U_N=380V，n_N=975r/min，f_1=50Hz，r_1=2.08Ω，x_1=3.12Ω，r_2'=1.53Ω，x_2'=4.25Ω。求该电机的额定转矩 T_N、最大转矩 T_m、过载倍数λ和临界转差率 s_m。

8．一台三相六极绕线式异步电动机接在频率为 50Hz 的电网上运行。已知电机定、转子总电抗每相为 0.1Ω，折合到定子边的转子每相电阻为 0.02Ω。求：

① 最大转矩对应的转速是多少？

② 要求最初启动转矩是最大转矩的 2/3 倍，须在转子中串入多大的电阻（折合到定子边的值，并忽略定子电阻）？

9．什么叫三相异步电动机的启动？它存在什么问题？有何危害？

10．三相异步电动机直接启动有何特点？

11．什么叫三相异步电动机的降压启动？有哪几种常用的方法？各有何特点？

12．绕线式异步电动机常用启动方法有哪几种？并分别说明其适用的场合。

13．当三相异步电动机在额定负载下运行时，由于某种原因，电源电压降低了 20%。问此时通入电动机定子绕组中的电流是增大还是减小？为什么？对电动机将带来什么影响？

14．某三相鼠笼型异步电动机，P_N=300kW，定子接 Y 形，U_N=380V，I_N=527A，n_N=1 475r/min，K_I=6.7，K_T=1.5，λ=2.5。车间变电所允许最大冲击电流为 1 800A，负载启动转矩为 1 000N・m，选择适当的启动方法。

15．什么叫三相异步电动机的调速？对三相鼠笼型异步电动机，有哪几种调速方法？分别比较其优缺点。

16．对三相绕线式异步电动机通常用什么方法调速？

17．在变极调速时为什么要改变绕组的相序？

18．在变频调速中，改变频率的同时还要改变电压，保持 U/f=常值，这是为什么？

19．什么是串级调速？为什么在转子电路内引入附加电势能调速？

20．一台三相四极绕线式异步电动机，f=50Hz，n_N=1 485r/min，r_2=0.02Ω，若定子电压、频率和负载转矩保持不变，要求把转速降到 1 050r/min。问要在转子回路中串接多大电阻？

21．如何改变异步电动机的转向？频繁改变电动机的转向有何害处？

22．什么叫三相异步电动机的制动？制动通常分哪两大类？

23．简述能耗制动的接线与制动原理。

24．反接制动为什么要在转子回路串入制动电阻？

25．一绕线式异步电动机，P_N=60kW，n_N=577r/min，I_{1N}=133A，E_{2N}=253V，I_{2N}=160A，λ=2.9。若电动机在回馈制动状态下放下重物，T_L= 0.8T_N，转子串接电阻为 0.06Ω。求此时电动机的转速。

26．一台搁置较久的三相鼠笼型异步电动机，在通电使用前应进行哪些准备工作后才能通电使用？

27．三相异步电动机在通电启动时应注意哪些问题？

28．三相异步电动机在连续运行中应注意哪些问题？

29．如发现三相异步电动机通电后电动机不转动首先应怎么办？其原因主要有哪些？

30．三相异步电动机在运行中发出焦臭味或冒烟应怎么办？其原因主要有哪些？

技能训练 2.1　三相鼠笼式异步电动机拆装技能训练

【训练要求】

会三相鼠笼式异步电动机的拆与装。

【训练工具】

① 扳手、榔头、撬棍、螺丝刀、剪刀、拉马等。

② 电动机，绕线机，绝缘材料，漆包线等。

【训练步骤】

（1）对三相鼠笼式异步电动机进行拆卸，检测有关数据，并将相关情况记入表 2.3 中。

表 2.3　三相鼠笼式异步电动机的拆卸训练记录

步骤	内　　容	工 艺 要 求
1	拆卸前的准备工作	（1）拆卸地点____________________ （2）拆卸前所作记号：① 联轴器或带轮与轴的距离________mm；② 端盖与机座间记号注于________方位；③ 前后轴承记号的形状________；④ 机座在基础上的记号____________________
2	拆卸顺序	（1）______________　（2）______________ （3）______________　（4）______________ （5）______________　（6）______________
3	拆卸皮带轮或联轴器	（1）使用工具____________________ （2）工艺要点____________________ ____________________
4	拆卸端盖	（1）使用工具____________________ （2）工艺要点____________________ ____________________

续表

步骤	内　容	工 艺 要 求
5	检测数据	（1）定子铁心内径______mm，铁心长度______mm （2）转子铁心外径______mm，铁心长度______mm，转子总长______mm （3）轴承内径______mm，外径______mm （4）键槽长______mm，宽______mm，深______mm
6	拆卸绕组	（1）使用工具______ （2）工艺要点______ ______

（2）重新装配三相鼠笼式异步电动机，检测有关数据，并将相关情况记入表 2.4 中。

表 2.4　三相鼠笼式异步电动机的装配训练记录

步骤	内　容	工 艺 要 求
1	装配前的准备工作	（1）装配地点______ （2）装配前的准备______
2	定子绕组的绕制	（1）使用工具______ （2）工艺要点______ ______
3	定子绕组的嵌放和连接	（1）使用工具______ （2）工艺要点______ ______
4	安放转子	（1）使用工具______ （2）工艺要点______ ______
5	加装端盖、风扇和风罩	（1）使用工具______ （2）工艺要点______ ______
6	接好引线，装好接线盒及铭牌	（1）使用工具______ （2）工艺要点______ ______

（3）三相鼠笼式异步电动机的故障分析。

① 未预设故障前，检测出电动机的有关数据，以便与后面故障状态的数据比较，找出其中的规律，现将正常电动机及运行中所测有关数据记入表 2.5 中。

表 2.5　正常电动机及运行中有关数据记录

<table>
<tr><td>铭牌额定值</td><td colspan="5">电压______V，电流______A，转速______r/min，功率______kW，接法______</td></tr>
<tr><td rowspan="8">实际检测</td><td colspan="2">三相电源电压</td><td colspan="3">U_{UV}______V，U_{VW}______V，U_{WU}______V</td></tr>
<tr><td colspan="2">三相绕组电阻</td><td colspan="3">R_U______Ω，R_V______Ω，R_W______Ω</td></tr>
<tr><td rowspan="2">绝缘电阻</td><td>对地绝缘</td><td colspan="3">$R_{U地}$______MΩ，$R_{U地}$______MΩ，$R_{W地}$______MΩ</td></tr>
<tr><td>相间绝缘</td><td colspan="3">R_{UV}______MΩ，R_{VW}______MΩ，R_{WV}______MΩ</td></tr>
<tr><td rowspan="2">三相电流</td><td>空载</td><td colspan="3">I_U______A，I_V______A，I_W______A</td></tr>
<tr><td>满载</td><td colspan="3">I_U______A，I_V______A，I_W______A</td></tr>
<tr><td>转速</td><td>空载</td><td>r/min</td><td>满载</td><td>r/min</td></tr>
</table>

② 在接线盒中有六个线端的电动机中，人为预设部分典型故障，观察其直观故障现象并用仪表检查，将情况记录于表 2.6 中。

表 2.6　故障电动机有关情况及数据记录

预设故障部位	直观故障现象	检测情况			与正常值比较（用>或<表示）
		项目	仪表	数据	
运行前一相熔体断路		空载电流	钳形表	I_U_______A I_V_______A I_W_______A	
		相绕组端电压	万用表交流电压挡	UV 间____MΩ VW 间 ___MΩ WU 间___MΩ	
		转速	转速表	_____r/min	
运行中一相熔体断路		空载电流	钳形表	I_U_______A I_V_______A I_W_______A	
		相绕组端电压	万用表交流电压挡	UV 间____MΩ VW 间 ___MΩ WU 间___MΩ	
		转速	转速表	_____r/min	
一相绕组接反		空载电流	钳形表	I_U_______A I_V_______A I_W_______A	
		相绕组端电压	万用表交流电压挡	UV 间____MΩ VW 间 ___MΩ WU 间____MΩ	
		转速	转速表	_____r/min	
一相绕组碰壳（在接线盒中设置）		空载电流	钳形表	I_U_______A I_V_______A I_W_______A	
		相绕组端电压	万用表交流电压挡	UV 间____MΩ VW 间 ___MΩ WU 间____MΩ	
		转速	转速表	_____r/min	
将三角形接法改成星形		负载电流	钳形表	I_U_______A I_V_______A I_W_______A	
		负载转速	转速表	_____r/min	
		空载电流	钳形表	I_U_______A I_V_______A I_W_______A	
		空载转速	转速表	_____r/min	
将星形接法改成三角形		负载电流	钳形表	I_U_______A I_V_______A I_W_______A	
		负载转速	转速表	_____r/min	
		空载电流	钳形表	I_U_______A I_V_______A I_W_______A	
		空载转速	转速表	_____r/min	

技能训练 2.2 三相异步电动机绕组首尾端判别技能训练

【训练要求】

① 会用 36V 交流电源和灯泡法判别三相异步电动机的首尾端。

② 会用万用表判别三相异步电动机的首尾端。

【训练工具】

三相异步电动机、220/36V 变压器、电池、灯泡、按钮、接线夹、万用表等。

【训练步骤】

① 用万用表找出三相绕组各相的两个线头，做好标记。

② 用 36V 交流电源和灯泡判别三相异步电动机定子绕组的首尾端。

③ 用万用表法进行复验。

④ 认为正确后，将原标记去掉，给三个首端分别做 U1，V1，W1 的标记，相应的尾端做 U2，V2，W2 的标记。

第 3 章　电气控制线路的基本环节

学习目标

◆　知识目标　了解三相异步电动机的启动、调速和制动控制电路的基本原理，掌握控制线路的分析方法及各保护环节的作用。

◆　能力目标　能阅读和分析简单的电气控制电路原理图及通用设备电气控制系统图，能处理一般通用设备电气控制电路的简单故障，具备初步安装和调试简单电气控制电路的能力。

重点和难点

◆　重点　三相异步电动机的启动、调速、制动等运行过程的控制方法、线路分析及各自特点；短路、过载、过电流、欠压、失压等保护环节作用。

◆　难点　通用设备控制电路的分析及简单控制线路的设计。

在工厂电气设备与生产机械电力拖动自动控制线路中，主要以各类电动机或其他执行电器为控制对象。它们的控制线路虽然多种多样，但都是由一些基本控制单元按一定要求组合而成。本章将学习三相异步电动机的启动、运行、调速、制动的基本控制线路和常用的保护等。

3.1　电气原理图

电气控制系统图是由许多电器元件按一定要求连接而成的，可表达机床及生产机械电气控制系统的结构、原理等设计意图，便于电器元件和设备的安装、调整、使用和维修。因此，必须能看懂其电气控制系统图，特别是电气原理图，下面主要介绍的是电气原理图。

电气原理图是用来表示电路各电气元器件中导电部件的连接关系和工作原理的图。该图应根据简单、清晰的原则，采用电气元器件展开形式来绘制，它不按电气元器件的实际位置来画，也不反映电气元器件的大小、安装位置，只用电气元件的导电部件及其接线端按钮采用国家标准规定的图形符号来表示电气元器件，再用导线将这些导电部件连接起来以反映其连接关系。所以电气原理图结构简单、层次分明、关系明确，适用于分析研究电路的工作原理，且为其他电气图的依据，在设计部门和生产现场获得广泛应用。

现以图3.1 所示 CW6132 型普通车床电气原理图为例，来阐明绘制电气原理图的原则和注意事项。

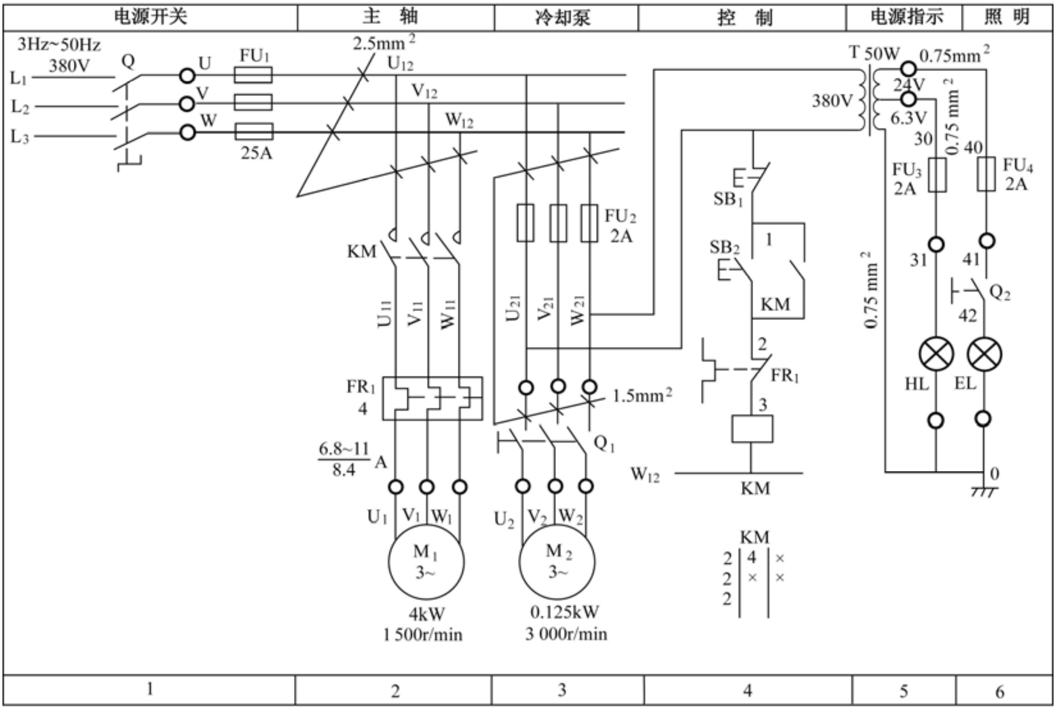


图 3.1　CW6132 型普通车床电气原理图

3.1.1　绘制电气原理图的原则

（1）电气原理图的绘制标准：图中所有的元器件都应采用国家统一规定的图形符号和文字符号。

（2）电气原理图由主电路和辅助电路组成。主电路是从电源到电动机的电路，其中有刀开关、熔断器、接触器主触头、热继电器发热元件与电动机等。主电路用粗线绘制在图面的左侧或上方。辅助电路包括控制电路、照明电路、信号电路及保护电路等。它们由继电器、接触器的电磁线圈，继电器、接触器辅助触头，控制按钮，其他控制元件触头、控制变压器、熔断器、照明灯、信号灯及控制开关等组成，用细实线绘制在图面的右侧或下方。

（3）电源线的画法。原理图中直流电源用水平线画出，一般直流电源的正极画在图面上方，负极画在图面的下方。三相交流电源线集中水平画在图面上方，相序自上而下依 L_1，L_2，L_3 排列，中性线（N 线）和保护接地线（PE 线）排在相线之下。主电路垂直于电源线画出，控制电路与信号电路垂直在两条水平电源线之间。耗电元器件（如接触器、继电器的线圈、电磁铁线圈、照明灯、信号灯等）直接与下方水平电源线相接，控制触头接在上方电源水平线与耗电元器件之间。

（4）电气原理图中电气元器件的画法。电气原理图中的各电气元器件均不画实际的外形图，电气原理图中只画出其带电部件，同一电气元器件上的不同带电部件是按电路中的连接关系画出，但必须按国家标准规定的图形符号画出，并且用同一文字符号标明。对于几个同类电器，在表示名称的文字符号之后加上数字序号，以示区别。

（5）电气原理图中电气触头的画法。原理图中各元器件触头状态均按没有外力作用时或未通电时触头的自然状态画出。接触器、电磁式继电器是按电磁线圈未通电时触头状态画出；控制按钮、行程开关的触头按不受外力作用时的状态画出；断路器和开关电器触头按断开状态画出。当电气触头的图形符号垂直放置时，以“左开右闭”原则绘制，即垂线左侧的触头为常开触头，垂线右侧的触头为常闭触头；当符号为水平放置时，以“上闭下开”原则绘制，即在水平线上方的触头为常闭触头，水平线下方的触头为常开触头。

（6）电气原理图的布局。电气原理图按功能布置，即同开功能的电气元器件集中在一起，尽可能按动作顺序从上到下或从左到右的原则绘制。

（7）线路连接点、交叉点的绘制。在电路图中，对于需要测试和拆装的外部引线的端子，采用“空心圆”表示；有直接电联系的导线连接点，用“实心圆”表示；无直接电联系的导线交叉点不画黑圆点，但在电气图中尽量避免线条的交叉。

（8）电气原理图绘制要求。电气原理图的绘制要层次分明，各电器元件及触头的安排要合理，既要做到所用元件、触头最少，耗能最少，又要保证电路运行可靠，节省连接导线以及安装、维修方便。

3.1.2 关于电气原理图图区划分和触点位置的索引

1．图区划分

在图 3.1 中，图下方的 1，2，3 等数字为图区编号，便于检索、阅读和分析电气电路，以避免遗漏。图区编号也可以设置在图的上方。

图样上方的“电源开关”等字样，表明对应区域下方某个元件或某部分电路的功能，以利于理解全电路的工作原理。

2．继电器、接触器触点位置的索引

在图 3.1 中，KM 线圈下方的

	KM	
2	4	×
2	×	×
2		

是接触器 KM 相应触点的索引。

电气原理图中，接触器和继电器线圈与触点之间的从属关系要加以说明，即在原理图中相应线圈的下方，给出触点的图形符号，并在其下方注明相应触点的索引代号，对未使用的触点用“×”表示，也可以不标注。

接触器各栏的含义如下：

左栏	中栏	右栏
主触点所在的图区号	辅助动合触点所在的图区号	辅助动断触点所在的图区号

继电器各栏的含义如下：

左栏	右栏
动合触点所在的图区号	动断触点所在的图区号

3.1.3　分析电气原理图的基本方法

生产机械电气原理图阅读分析基本方法是“先机后电、先主后辅、化整为零、集零为整、统观全局、总结特点”。

1．先机后电

首先应了解生产机械的基本结构、运行情况、工艺要求、操作方法，以期对生产机械的结构及其运行有个总体的了解，进而明确对电力拖动自动控制的要求，为阅读和分析电路做好前期准备。

2．先主后辅

先阅读主电路，看设备由几台电动机拖动，各台电动机的作用，结合加工工艺分析电动机的启动方法，有无正反转控制，采取何种制动方式，采用哪些电动机保护。之后再分析控制电路，最后阅读辅助电路。

3．化整为零

在分析控制电路时，从加工工艺出发，一个环节一个环节地去阅读和分析各台电动机的控制电路，先把各台电动机的控制划分成若干个局部电路，每一台电动机的控制电路又按启动环节、制动环节、调整环节、反向环节来分析电路。然后分析辅助电路，辅助电路包括信号电路、检测电路与照明电路等，这部分电路具有相对的独立性，仅起辅助作用，不影响主要功能，但这部分电路大多是由控制电路中的元件来控制的，可结合控制电路一并分析。

4．集零为整、统观全局

在逐个分析完局部电路之后，还应统观全部电路，看各局部电路之间的连锁关系，机、电、液的配合情况，电路中设有哪些保护环节。以期对整个电路有清晰地理解，对全部电路中的每个局部电路，电器中的每一对触头的作用都了如指掌。

5．总结特点

各种设备的电气控制虽然都是由各种基本控制环节组合而成，但都有各自的特点，这也是各种设备电气控制的区别所在，应做好总结。只有这样，才能加深对电气设备电气控制的理解。

3.2　三相笼型异步电动机的全压启动控制

三相笼型异步电动机具有结构简单、坚固耐用、价格便宜、维修方便等优点，获得了广泛的应用。它的启动有直接启动与降压启动两种方式。

3.2.1 三相笼型异步电动机的直接启动

笼型异步电动机的直接启动是一种简单、可靠、经济的启动方法。由于直接启动电流可达到电动机额定电流的 4～7 倍，过大的启动电流会造成电网电压显著下降，直接影响在同一电网工作的其他电动机，甚至使它们停转或无法启动，故直接启动电动机的容量受到一定限制。可根据启动次数、电动机容量、供电变压器容量和机械设备是否允许来分析。一般容量小于 10kW 的电动机可直接启动。

1．三相异步电动机的单向全压启动控制电路

（1）开关控制电路。如图 3.2（a）所示为开关控制电路，如图 3.2（b）所示为自动开关控制电路。采用开关控制的电路仅适用于不频繁启动的小容量电动机，它不能实现远距离控制和自动控制，也不能实现零压、欠压和过载保护功能。

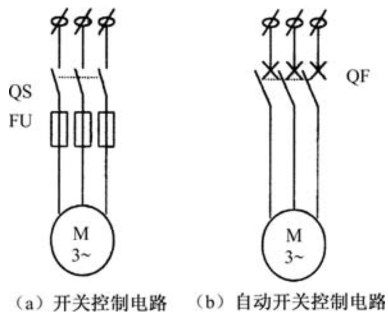


图 3.2 电动机单向旋转控制电路

（2）接触器控制电路。如图 3.3 所示为最典型的单向全压启动控制线路。由刀开关 QS、熔断器 FU_1、接触器 KM 的主触头、热继电器 FR 的热元件与电动机 M 构成主电路。

启动按钮 SB_2、停止按钮 SB_1、接触器 KM 的线圈及其常开辅助触头、热继电器 FR 的常闭触头和控制回路 FU_2 构成控制回路。

① 电路原理。启动时，合上 QS，引入三相电源。按下 SB_2，交流接触器 KM 线圈得电，主触头闭合，电动机接通电源直接启动。同时与 SB_2 并联的常开辅助触头闭合，使接触器线圈有两条路通电。这样即使手松开 SB_2，接触器 KM 的线圈仍可通过自己的辅助触头继续通电，保持电动机的连续运行。这种依靠接触器自身辅助触头而使线圈保持通电的现象称为自锁（或自保）。这一起自锁作用的辅助触头称为自锁触头。

停车时，按下停止按钮 SB_1 将控制电路断开即可。此时，KM 线圈断电，KM 常开主触头释放，三相电源断开，电动机停止运转。松开 SB_1 后，SB_1 虽能复位，但接触器线圈已不能再依靠自锁触头通电。

② 保护环节。熔断器 FU 作为电路短路保护，但达不到过载保护的目的。因为选择熔断器时，已考虑了电动机的启动电流。此外，还考虑了熔断器保护特性的反时限特性的原因。

热继电器 FR 具有过载保护作用。由于热继电器的热惯性较大，即使热元件流过几倍的额定电流，热继电器也不会立即动作。因此，在电动机启动时间不太长的情况下，热继电器是经得起电动机启动电流冲击而不动作的。只有在电动机长时间过载下 FR 才动作，断开控制电路，使接触器断电释放，电动机停止运行，实现过载保护作用。

欠压与失压保护是依靠接触器本身的电磁机构来实现的。当电源电压由于某种原因严重

欠压或失压时，接触器的衔铁自行释放，电动机停止旋转。而当电源电压恢复正常时，接触器线圈也不能自动通电，只有按下启动按钮 SB_2 后电动机才会启动，这也称零压保护。这可防止电动机低压运行及电动机的突然启动造成设备和人身事故。

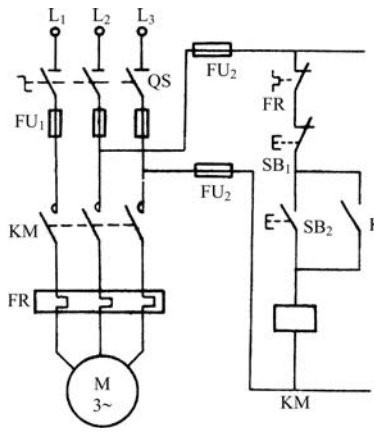


图 3.3　三相异步电动机单向全压启动控制电路

（3）点动控制电路。所谓点动，即按下按钮时电动机工作，手放开按钮时，电动机即停止工作。点动主要用于机床刀架、横梁、立柱的快速移动，机床的调整对刀等。

如图 3.4 所示列出了实现点动控制的几种电气控制线路，其中图 3.4（a）是最基本的点动控制线路。当按下点动启动按钮 SB 时，接触器 KM 通电吸合，主触头闭合，电动机接通电源。当手松开按钮时，接触器 KM 断电释放，主触头断开，电动机被切断电源而停止旋转。

如图 3.4（b）所示是带手动开关 SA 的点动控制线路。当需要点动时将开关 SA 打开，操作 SB_2 即可实现点动控制。当需要连续工作时合上 SA，将自锁触头接入，即可实现连续控制。

如图 3.4（c）所示增加了一个复合按钮 SB_3，这样，点动控制时，按下点动按钮 SB_3，其常闭触头先断开自锁电路，常开触头后闭合，接通启动控制电路，KM 线圈通电，主触头闭合，电动机启动旋转。当松开 SB_3 时，KM 线圈断电，主触头断开，电动机停止转动。若需要电动机连续运转，则按启动按钮 SB_2 即可，停机时需按停止按钮 SB_1。

如图 3.4（d）所示是利用中间继电器实现点动的控制线路。利用点动启动按钮 SB_2 控制中间继电器 KA，KA 的常开触头并联在 SB_3 两端，控制接触器 KM，再控制电动机实现点动，当需要连续控制时按下 SB_3 按钮即可，当需要停转时按下 SB_1 按钮。

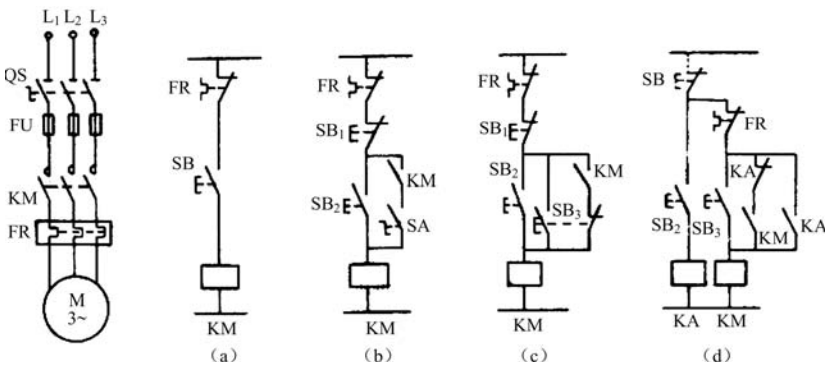
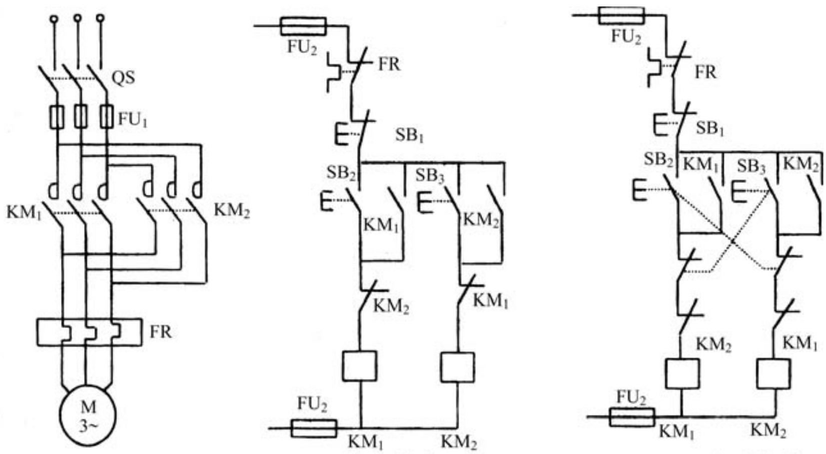


图 3.4　点动控制线路

2．三相异步电动机的正反转控制电路

在生产加工过程中，往往要求电动机能够实现可逆运行。如机床工作台的前进与后退、主轴的正转与反转、起重机吊钩的上升与下降等，这就要求电动机可以正反转。由电动机原理可知，若将接至电动机的三相电源进线中的任意两相对调，可使电动机反转。所以可逆运行控制线路实质上是两个方向相反的单向运行线路，但为了避免误动作引起电源相间短路，又在这两个相反方向的单向运行线路中加设了必要的互锁。按照电动机可逆运行操作顺序的不同，有“正—停—反”和“正—反—停”两种控制电路。

（1）电动机“正—停—反”控制电路。如图 3.5 所示为电动机正反转控制线路。KM_1 为正转接触器，KM_2 为反转接触器，SB_2 为正向启动按钮，SB_3 为反向启动按钮，SB_1 为停止按扭。



（a）正一停一反电路　　（b）正一反一停电路

图 3.5　三相异步电动机正反转控制电路

该图利用两个接触器的常闭触头 KM_1，KM_2 起相互控制作用，即利用一个接触器通电时，其常闭辅助触头的断开来锁住对方线圈的电路。这种利用两个接触器的常闭辅助触头互相控制的方法叫做互锁，而两对起互锁作用的触头便叫做互锁触头。

图 3.5（a）控制线路进行正反向操作控制时，必须首先按下停止按钮 SB_1，然后再反向启动，因此它是“正—停—反”控制电路。

（2）电动机“正—反—停”控制电路。在生产实际中为了提高劳动生产率，减少辅助工时，要求直接实现正反转的变换控制。由于电动机正转的时候，按下反转按钮时首先应断开正转接触器线圈线路，待正转接触器释放后再接通反转接触器，于是，为此可以采用两只复合按钮实现。其控制线路如图 3.5（b）所示。

在这个线路中，正转启动按钮 SB_2 的常开触头用来使正转接触器 KM_1 的线圈瞬时通电，其常闭触头则串联在反转接触器 KM_2 线圈的电路中，用来使之释放。反转启动按钮 SB_3 也按 SB_2 同样安排。当按下 SB_2 或 SB_3 时，首先是常闭触头断开，然后才是常开触头闭合。这样在需要改变电动机运转方向时，就不必按 SB_1 停止按钮，可直接操作正反转按钮即能实现电动机运转情况的改变。

图 3.5（b）的线路中既有接触器的互锁（电气互锁），又有按钮的互锁（机械互锁），保证了电路可靠地工作。

3．自动往复行程控制电路

在生产实践中，有些生产机械的工作台需要自动往复运动，如龙门刨床、导轨磨床等。如图 3.6 所示为最基本的自动往复循环控制线路。它是利用行程开关实现往复运动控制的，通常被叫做行程控制原则。

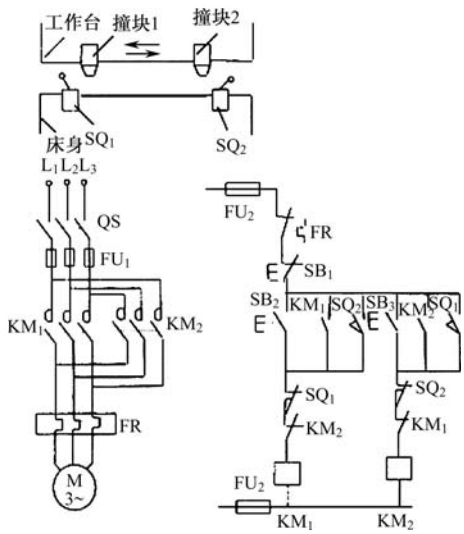


图 3.6　自动往复循环控制电路

限位开关 SQ_1 放在左端需要反向的位置，而 SQ_2 放在右端需要正向的位置，机械挡铁装在运动部件上。启动时，利用正向或反向启动按钮，如按正转按钮 SB_2，KM_1 通电吸合并自锁，电动机做正向旋转带动机床运动部件左移。当运动部件移至左端并碰到 SQ_1 时，将 SQ_1 压下，其常闭触头断开，切断 KM_1 接触器线圈电路，同时其常开触头闭合，接通反转接触器 KM_2 线圈电路，此时电动机由正向旋转变为反向旋转，带动运动部件向右移动，直到压下 SQ_2 限位开关电动机由反转又变成正转，这样驱动运动部件进行往复的循环运动。

由上述控制情况可以看出，运动部件每经过一个自动往复循环，电动机要进行两次反接制动过程，将出现较大的反接制动电流和机械冲击。因此，这种线路只适用于电动机容量较小、循环周期较长、电动机转轴具有足够刚性的拖动系统中。另外，在选择接触器容量时应比一般情况下选择的容量大一些。

除了利用限位开关实现往复循环之外，还可利用限位开关控制进给运动到预定点后自动停止的限位保护等电路，其应用相当广泛。

3.2.2　三相笼型异步电动机的降压启动控制

较大容量的笼型异步电动机（大于 10kW）因启动电流较大，一般都采用降压启动方式来限制启动电流，启动时降低加在定子绕组上的电压，启动后再将电压恢复到额定值，使之在正常电压下运行。常用的降压启动有定子回路串电阻（或电抗）、星形－三角形、自耦变压器及延边三角形降压等启动方法。

1．定子回路串电阻降压启动控制电路

图 3.7 所示是定子回路串电阻降压启动控制电路。图中，KM_1 为电源接触器，KM_2 为短

接电阻接触器，KT 为启动时间继电器，R 为减压启动电阻。

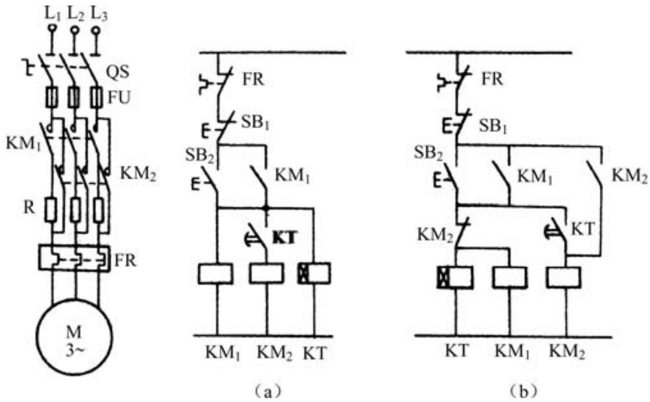


图 3.7　定子回路串电阻降压启动控制电路

电动机启动时在三相电路中串接电阻，使电动机定子绕组电压降低，启动结束后再将电阻短接，电动机在额定电压下正常运行。

图 3.7（a）电路的工作原理：合上电源开关 QS，按启动按钮 SB_2，KM_1 得电吸合并自锁，电动机串电阻 R 启动。接触器 KM_1 得电同时，时间继电器 KT 得电吸合，其延时闭合常开触点使接触器 KM_2 经延时后得电，主回路电阻 R 被短接，电动机在全压下进入正常稳定运转。从主回路看，只要 KM_2 得电就能使电动机正常运行。但在线路图 3.7（a）中，电动机启动后 KM_1 和 KT 一直得电，这是不必要的。线路图 3.7（b）就解决了这个问题。接触器 KM_2 得电后，用其常闭触点将 KM_1 及 KT 的线圈电路切断，同时 KM_2 自锁。这样，在电动机启动后，只有 KM_2 得电使之正常运行。

电动机定子串电阻减压启动由于不受电动机接线形式的限制，设备简单，因而在中小型生产机械中应用广泛。机床中也常用这种串电阻降压方式来限制启动及制动电流。但是，由于串接电阻启动时，启动转矩较小，仅适用于对启动转矩要求不高的生产机械上。另外，由于启动电阻一般采用电阻丝绕制的板式电阻或铸铁电阻，使控制柜体积增大，电能损耗增大，所以大容量电动机往往采用电抗器启动。

2．Y—△（星形—三角形）降压启动控制电路

凡是正常运行时定子绕组接成三角形的笼型异步电动机，常可采用星形－三角形的降压启动方法来达到限制启动电流的目的。

图 3.8 所示为三相异步电动机星形－三角形减压启动控制线路图。KM_1 为电源接触器，KM_2 为△联结接触器，KM_3 为 Y 联结接触器，KT 为启动时间继电器。

其工作原理是，启动时合上电源开关 QS，按启动按钮 SB_2，则 KM_1，KM_3 和 KT 同时吸合并自锁，这时电动机接成星形启动。随着转速升高，电动机电流下降，KT 延时达到整定值，其延时断开的常闭触点断开，其延时闭合的常开触点闭合，从而使 KM_3 断电释放，KM_2 通电吸合自锁，这时电动机换接成三角形正常运行。利用 KM_2 的常闭触点断开 KT 的线圈，使 KT 退出运行，这样可延长时间继电器的寿命并节约电能。停止时只要按下停止按钮 SB_1，KM_1 和 KM_2 相继断电释放，电动机停止。

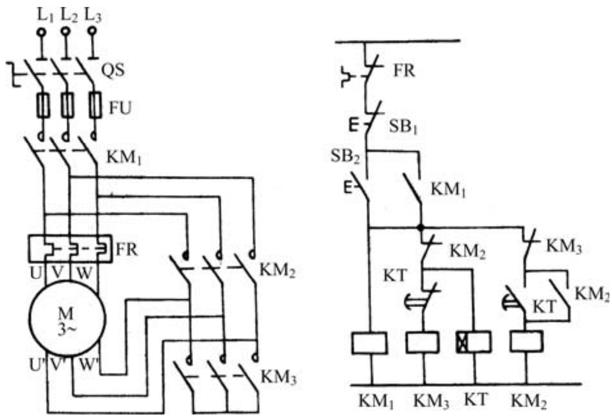


图 3.8　三相异步电动机星形－三角形减压启动控制电路

三相笼型异步电动机采用 Y—△减压启动时，定子绕组星形联结状态下启动电压为三角形联结直接启动电压的 $1/\sqrt{3}$ 。启动转矩与启动电压的平方成正比，因而启动转矩为三角形联结直接启动转矩的 1/3，启动电流也为三角形联结直接启动的 1/3。与其他减压启动相比 Y—△启动投资少、线路简单，但启动转矩小。这种启动方法只适用于空载和轻载状态下启动，且只能用于正常运转时定子绕组接成三角形的笼型异步电动机。

3．自耦变压器降压启动控制电路

在自耦变压器减压启动的控制线路中，电动机启动电流的限制，是依靠自耦变压器的降压作用来实现的。电动机启动的时候，定子绕组得到的电压是自耦变压器的二次电压。一旦启动结束，自耦变压器便被切除，额定电压通过接触器直接加于定子绕组，电动机进入全电压下正常工作。

图 3.9 所示为自耦变压器减压启动的控制线路。KM_1 为减压接触器，KM_2 为正常运行接触器，KT 为启动时间继电器。

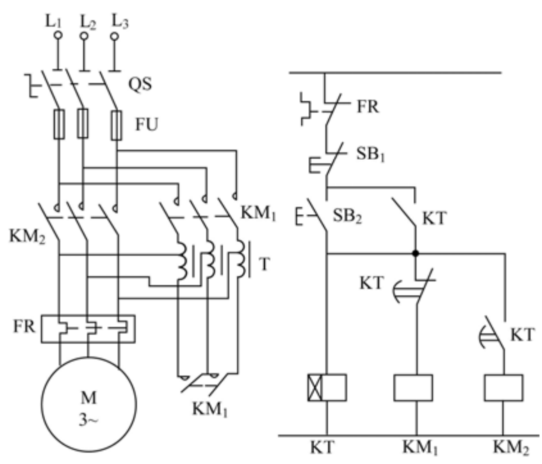


图 3.9　自耦变压器减压启动控制电路

电路原理为：启动时，合上电源开关 QS，按下启动按钮 SB_2，接触器 KM_1 的线圈和时间继电器 KT 的线圈通电，KT 瞬时动作的常开触头闭合自锁，接触器 KM_1 主触头闭合将电动机定子绕组经自耦变压器接至电源，这时自耦变压器接成星形，电机减压启动。时间继电器经过一定延时后，其延时常闭触头打开，使接触器 KM_1 线圈断电，KM_1 主触头断开，从而将自耦变压器从电网上切除。而延时常开触头闭合，使接触器 KM_2 线圈通电，于是电动机直接接到电网上运行，完成整个启动过程。

该电路的缺点是时间继电器一直通电，耗能多，且缩短了元件寿命。读者可自行分析设计一断电延时的控制电路。

自耦变压器减压启动方法适用于容量较大的、正常工作时接成星形或三角形的电动机。其启动转矩可以通过改变自耦变压器抽头的连接位置得到改变，它的缺点是自耦变压器价格较贵，而且不允许频繁启动。

一般工厂常用的自耦变压器启动方法是采用成品的补偿降压启动器。这种成品的补偿降压启动器有 XJ01 型和 CTZ 系列等。

XJ01 型补偿降压启动器适用于 14kW～28kW 电动机，其控制线路如图 3.10 所示。

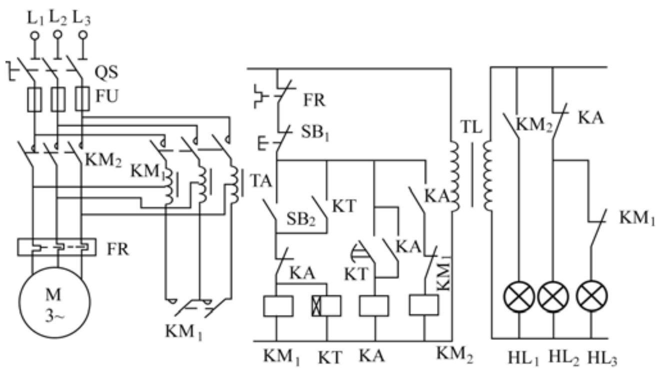


图 3.10　XJ01 型补偿器降压启动控制电路

自耦变压器减压启动常用于电动机容量较大的场合，因无大容量的热继电器，故可采用电流互感器后使用小容量的热继电器来实现过载保护。

4．延边三角形降压启动控制电路

采用 Y—△降压启动时，可以在不增加专用启动设备的条件下实现降压启动，但其启动转矩较低，仅适用于空载或轻载的状态下启动。而延边三角形降压启动是一种既不用启动设备，又能得到较高启动转矩的启动方法。它在电动机启动过程中将绕组接成延边三角形，待启动完毕后，将其绕组接成三角形进入正常运行。为此，电动机每相绕组有三个接线抽头，如图 3.11 所示。电动机定子绕组做延边三角形联结时，每相绕组承受的电压比三角形联结时低，又比星形联结时高，介于二者之间。这样既可实现降压启动，又可提高启动转矩。可以说延边三角形降压启动是 Y—△的发展。

延边三角形联结时，电动机定子绕组电压与线电压关系，决定于每相定子绕组两部分的匝数比。改变抽头比，就能改变相电压的大小，从而改变启动转矩的大小。一般来说，电动机的抽头比已经固定，所以仅在这些抽头比的范围内做有限变动。

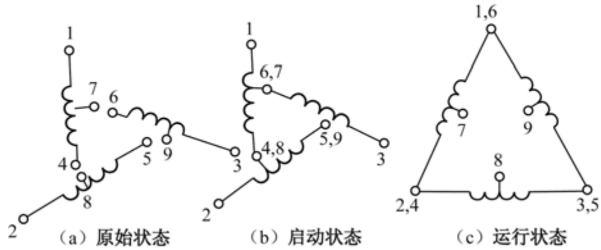


图 3.11　延边三角形启动电动机抽头连接方式

图 3.12 所示为延边三角形降压启动控制电路，KM_3 为延边三角形联结接触器，KM_1 为线路接触器，KM_2 为三角形联接触器，KT 为启动时间继电器。KM_1，KM_3 通电时，电动机接成延边三角形，待启动电流到达一定数值时，KM_3 释放，KM_2 通电，电动机接成三角形正常运转。接触器的换接时间由时间继电器 KT 自动实现。

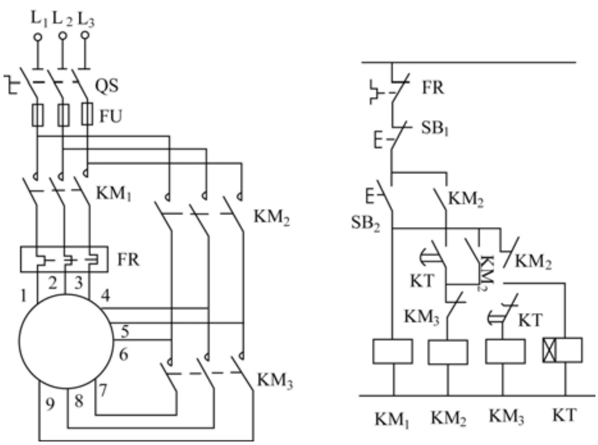


图 3.12　延边三角形降压启动控制电路

3.3　绕线型异步电动机的启动控制

三相绕线型异步电动机转子有三相绕组，通过滑环可以外串电阻，从而达到减小启动电流、提高转子电路功率因数和启动转矩的目的，适用于调速及要求启动转矩高的场合。绕线型电动机在启动过程中按照转子串接装置不同，可分为串电阻启动与串频敏变阻器启动两种控制电路。

3.3.1　转子绕组串电阻启动控制电路

串接在三相转子回路中的启动电阻，一般都接成星形。在启动前，启动电阻全部接入电路，在启动过程中，启动电阻被逐段短接。根据启动过程中转子电流变化情况及启动时间，可分为电流原则与时间原则两种控制电路。

1．时间原则转子串电阻启动控制

如图 3.13 所示为时间原则控制转子串电阻启动控制电路，KM_1 为电源接触器，KM_2～

KM_4 为短接转子电阻接触器；KT_1～KT_3 为启动时间继电器，自动控制电阻的短接。

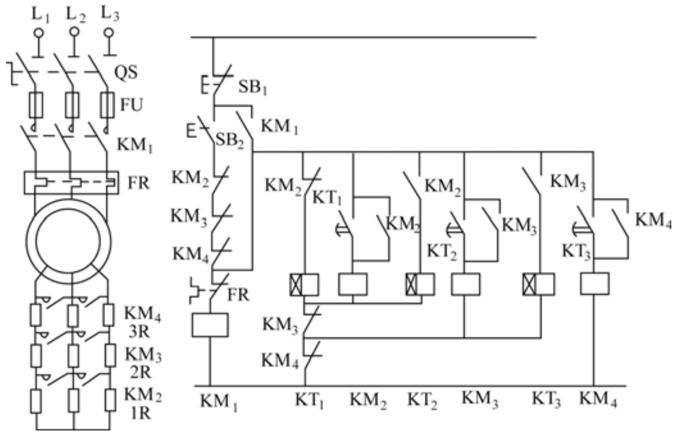


图 3.13　时间原则控制转子电路串电阻启动控制电路

启动时，转子回路串电阻启动。然后，依靠 KT_1，KT_2，KT_3 三只时间继电器和 KM_2，KM_3，KM_4 三只接触器的相互配合来完成电阻的逐步切除，电阻短接完毕，启动结束。线路中只有 KM_1，KM_4 长期通电，而 KT_1，KT_2，KT_3，KM_2，KM_3 五只线圈的通电时间均被压缩到最低限度。这样做一方面节省了电能，更重要的是延长了它们的使用寿命。

图 3.13 所示控制线路存在两个问题：一方面，一旦时间继电器损坏时，线路将无法实现电动机正常启动和运行；另一方面，在电动机启动过程中逐段减小电阻时，电流及转矩突然增大，产生不必要的机械冲击。

2．电流原则转子串电阻启动控制

如图 3.14 所示是电流原则控制转子串接电阻的启动线路。它是利用电动机转子电流大小的变化来控制电阻切除的。KM_1 为电源接触器，KM_2～KM_4 为短接转子电阻接触器；KI_1～KI_3 为电流继电器，其线圈串接在电动机转子电路中。这三个继电器的吸合电流都一样，但释放电流不一样。其中 KI_1 的释放电流最大，KI_2 次之，KI_3 最小。刚启动时启动电流很大，KI_1～KI_3 都吸合，它们的常闭触头断开，这时加速接触器 KM_2～KM_4 不动作，电阻全部接入。当电动机转速升高后电流减小，KI_1 首先释放，它的常闭触头闭合，使接触器 KM_2 线圈通电，短接第一段转子电阻 1R，这时转子电流又重新增加，随着转速升高，电流逐渐下降，使 KI_2 释放，接触器 KM_3 线圈通电，短接第二段启动电阻 2R，如此下去，直到将转子全部电阻短接，电动机启动完毕。

3.3.2　转子绕组串频敏变阻器启动控制电路

1．频敏变阻器

绕线型异步电动机转子串接电阻的启动方法，在启动过程中，逐段切除电阻，电流与转矩突然加大，产生一定的机械冲击。同时由于使用电器多，控制线路复杂，工作很不可靠；而且电阻本身较笨重，能耗大，控制箱体积较大。为此，自身阻抗能够随电动机启动过程而自动减小的频敏变阻器得到应用。

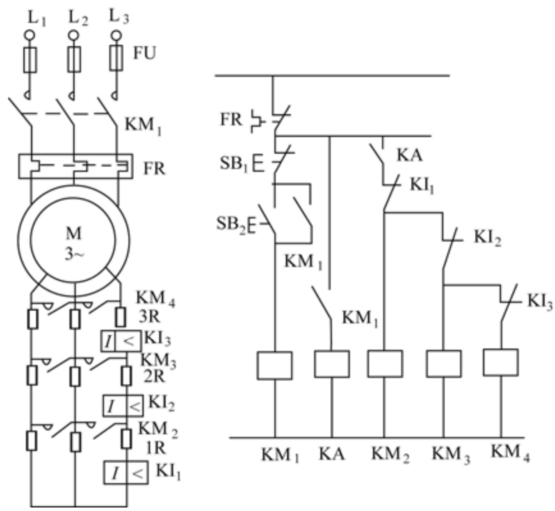


图 3.14　电流原则控制转子电路串电阻启动控制电路

频敏变阻器实质上是一个铁心损耗非常大的三相电抗器，如图 3.15 所示。它由数片 E 型钢板叠成，具有铁心、线圈两个部分，制成开启式，并采用星形接线。将其串接在转子回路中，相当于转子绕组接入一个较大的电抗器，它的阻抗与 f_2 近似成正比。所以，绕线式异步电动机串接频敏变阻器启动时，随着启动过程转子频率的降低，其阻抗值自动减小，实现了平滑无级的启动，避免了机械冲击。同时，频敏变阻器的等效电阻和等效电抗是同步变化的，因而其转子的功率因数基本不变，从而实现了近似恒转矩的启动特性。这种启动方式在空气压缩等设备中获得了广泛应用。

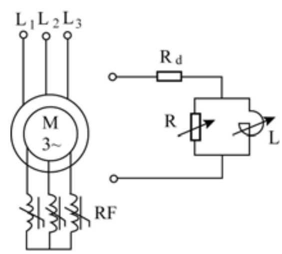


图 3.15　频敏变阻器的等效电路及其与电动机的连接

2．转子串频敏变阻器的启动控制电路

如图 3.16 所示是采用频敏变阻器的启动控制电路，该电路可以实现自动控制和手动控制。自动控制时将开关 SA 扳向“自动”，当按下启动按钮 SB_2，利用时间继电器 KT，控制

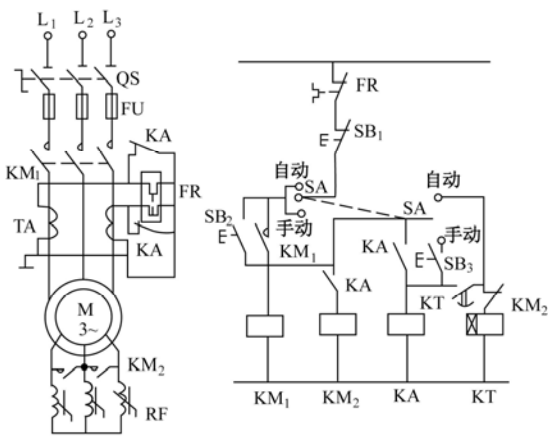


图 3.16　绕线型异步电动机转子串频敏变阻器启动控制电路

中间继电器 KA 和接触器 KM_2 的动作，在适当的时间将频敏变阻器短接。开关 SA 扳到“手动”位置时，时间继电器 KT 不起作用，利用按钮 SB_3 手动控制中间继电器 KA 和接触器 KM_2 的动作。启动过程中，KA 的常闭触点将热继电器的发热元件 FR 短接。以免因启动时间过长而使热继电器误动作。

在使用频敏变阻器的过程中，如遇到下列情况，可以调整匝数或气隙：启动电流过大或过小，可设法增加或减少匝数；启动转矩过大，机械有冲击，而启动完毕时的稳定转速又偏低，可增加上下铁心间的气隙，以使启动电流略微增加，启动转矩略微减小，但启动完毕时转矩增大，稳定转速可以得到提高。

3.4　三相异步电动机的制动控制

运行中的电动机在切断电源后，由于惯性作用，总是经过一定的时间才能停止运转。这对于某些要求定位准确、需要限制行程的生产机械是不合适的，如起吊重物的行车、机床上需要迅速停车、反转的机构等，它们都要求电动机分断电源后立即停转。技术上，让电动机断开电源后迅速停转的方法叫做制动。广泛应用的制动方法有机械制动和电气制动两种。机械制动一般通过电磁抱闸装置实现，电气制动一般有反接制动和能耗制动。下面重点讨论电气制动，电磁抱闸制动内容见第 5 章的起重机部分。

3.4.1　反接制动控制电路

反接制动包括负载作用的倒拉反接制动和改变电源相序的反接制动两种方法。这里讨论后者，即通过改变电动机电源的相序，使定子绕组产生相反方向的旋转磁场，因而产生制动转矩的一种制动方法。

由于反接制动时，转子与旋转磁场的相对速度接近于两倍的同步速度，所以定子绕组中流过的反接制动电流相当于全电压直接启动时电流的两倍。因此，反接制动特点之一是制动迅速、效果好、冲击大，通常适用于 10kW 以下的小容量电动机。为了减小冲击电流，通常要求在电动机的主电路中串接一定的电阻以限制反接制动电流，这个电阻称为反接制动电阻。反接制动电阻的接线方法有对称和不对称两种，对称电阻接法可以在限制启动转矩的同时，也限制制动电流，而采用不对称制动电阻的接法，只是限制了制动转矩，未加启动电阻的那一相，仍具有较大的电流。反接制动的另一要求是在电动机转速接近于零时，及时切断相序电源，以防止反向再启动。

1．单向反接制动控制电路

反接制动的关键在于电动机电源相序的改变，且当转速下降接近于零时，能自动将电源切除。为此采用了速度继电器来检测电动机的速度变化。在 120r/min～3 000r/min 范围内速度继电器触头动作，当转速低于 100r/min 时，其触头恢复原位。

如图 3.17 所示为单向反接制动控制电路。图中 KM_1 为单向旋转接触器，KM_2 为反接制动接触器，KS 为速度继电器，R 为反接制动电阻。

电路原理为，启动时，按下启动按钮 SB_2，接触器 KM_1 通电并自锁，电动机 M 通电运行。电动机正常运转时，速度继电器 KS 的常开触头闭合，为反接制动做好准备。停车时，按下停止按钮 SB_1，KM_1 线圈断电，电动机 M 脱离电源，由于此时电动机的惯性，转速仍

较高，KS 的常开触头仍处于闭合状态，所以 SB_1 常开触头闭合时，反接制动接触器 KM_2 线圈得电并自锁，其主触头闭合，使电动机得到相序相反的三相交流电源，进入反接制动状态，转速迅速下降。当转速接近于零时，速度继电器常开触头复位，接触器 KM_2 线圈断电，反接制动结束。

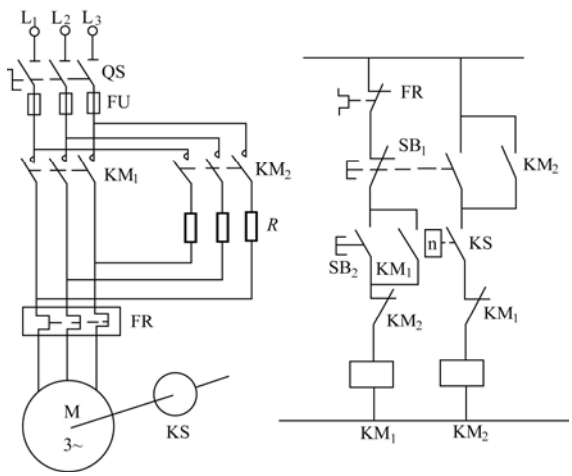


图 3.17　电动机单向反接制动控制电路

2．可逆运行反接制动电路

如图 3.18 所示为具有反接制动电阻的正反向反接制动控制电路，KM_1 为正向电源接触器，KM_2 为反向电源接触器，KM_3 为短接电阻接触器，电阻 R 既为反接制动电阻，同时也具有限制启动电流的作用。

电路分析：正向启动时，KM_1 得电，电机串电阻 R 限流启动。启动结束，KM_1，KM_3 同时得电，短接电阻 R，电机全压运行。制动时，KM_1，KM_3 断电，KM_2 得电，电源反接，电机串电阻 R 进入反接制动状态。转速接近为零时，KM_2 自动断电。

电路原理为，合上电源开关 QS，按下正转启动按钮 SB_2，中间继电器 KA_3 线圈通电并自锁，其常闭触头打开，互锁中间继电器 KA_4 线圈电路，KA_3 常开触头闭合，使接触器 KM_1 线圈通电，KM_1 的主触头闭合使定子绕组经电阻 R 接通正序三相电源，电动机开始降压启动。此时虽然中间继电器 KA_1 线圈电路中 KM_1 常开辅助触头已闭合，但是 KA_1 线圈仍无法通电。因为速度继电器 KS 的正转常开触点尚未闭合，当电动机转速上升到一定值时，KS 的正转常开触头闭合，中间继电器 KA_1 通电并自锁，这时由于 KA_1，KA_3 等中间继电器的常开触头均处于闭合状态，接触器 KM_3 线圈通电，于是电阻 R 被短接，定子绕组直接加以额定电压，电动机转速上升到稳定的工作转速。在电动机正常运行的过程中，若是按下停止按钮 SB_1，则 KA_3，KM_1，KM_3 三只线圈相继断电。由于此时电动机转子的惯性转速仍然很高，速度继电器 KS 的正转常开触头尚未复原，中间继电器 KA_1 仍处于工作状态，所以接触器 KM_1 常闭触头复位后，接触器 KM_2 线圈便通电，其常开主触头闭合。使定子绕组经电阻 R 获得反序的三相交流电源，对电动机进行反接制动。转子速度迅速下降，当其转速小于 100r/min 时，KS 的正转常开触头恢复断开状态，KA_1 线圈断电，接触器 KM_2 释放。反接制动过程结束。

电动机反向启动和制动停车过程与正转时相同。

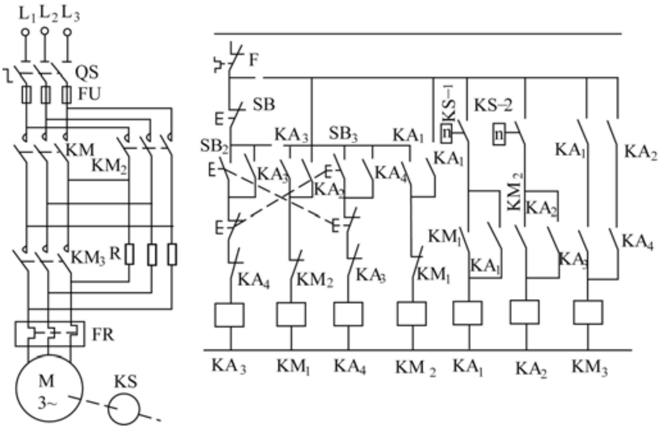


图 3.18　电动机可逆运行的反接制动控制电路

3.4.2　能耗制动控制电路

能耗制动是电动机脱离三相交流电源后，给定子绕组加一直流电源，以产生静止磁场，起阻止旋转的作用，达到制动的目的。能耗制动比反接所消耗的能量小，其制动电流比反接制动时要小得多。能耗制动适用于电动机能量较大，要求制动平稳和制动频繁的场合，但能耗制动需要直流整流装置。

1．单向运行能耗制动控制电路

（1）时间原则控制。如图 3.19 所示为时间原则控制的单向能耗制动控制电路。KM_1 为正常运行接触器，KM_2 为直流电源接触器，KT 为启动时间继电器。

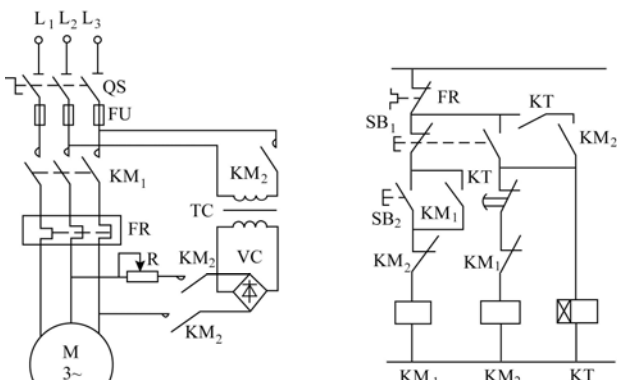


图 3.19　时间原则控制的单向能耗制动控制电路

在电动机正常运行的时候，若按下停止按钮 SB_1，电动机由于 KM_1 断电释放而脱离三相交流电源。直流电源则由于接触器 KM_2 线圈通电、主触头闭合而加入定子绕组。时间继电器 KT 线圈与 KM_2 线圈同时通电并自锁，电动机进入能耗制动状态。当其转子的惯性速度接近于零时，时间继电器延时打开的常闭触头断开接触器 KM_2 的线圈电路。由于 KM_2 常开辅助触头的复位，时间继电器 KT 线圈的电源也被断开，电动机能耗制动结束。图中 KT 的瞬时常开触头的作用是为了考虑 KT 线圈断线或机械卡住故障时，电动机在按下按钮 SB_1

后能迅速制动，两相的定子绕组不致长期接入能耗制动的直流电流。该线路具有手动控制能耗制动的能力，只要使停止按钮 SB_1 处于按下的状态，电动机就能实现能耗制动。

（2）速度原则控制。如图 3.20 所示为速度原则控制的单向能耗制动控制电路。该电路与图 3.19 控制电路基本相同，这里仅是控制电路中取消了时间继电器 KT 的线圈及其触头电路，而在电动机轴伸端安装了速度继电器 KS，并且用 KS 的常开触头取代了 KT 延时打开的常闭触头。这样，该线路中的电动机在刚刚脱离三相交流电源时，由于电动机转子的惯性速度仍很高，速度继电器 KS 的常开触头仍然处于闭合状态，所以接触器 KM_2 线圈能够依靠 SB_1 按钮的按下通电自锁。于是，两相定子绕组获得直流电源，电动机进入能耗制动。当电动机转子的惯性速度接近零时，KS 常开触头复位，接触器 KM_2 线圈断电而释放，能耗制动结束。

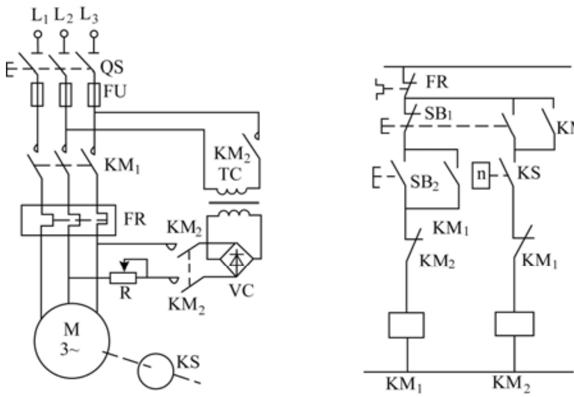


图 3.20　速度原则控制的单向能耗制动控制电路

2．可逆运行能耗制动控制电路

如图 3.21 所示为电动机按时间原则控制可逆运行的能耗制动控制线路。KM_1 为正转接触器，KM_2 为反转接触器，KM_3 为制动接触器，SB_2 为正向启动按钮，SB_3 为反向启动按钮，SB_1 为总停止按钮。

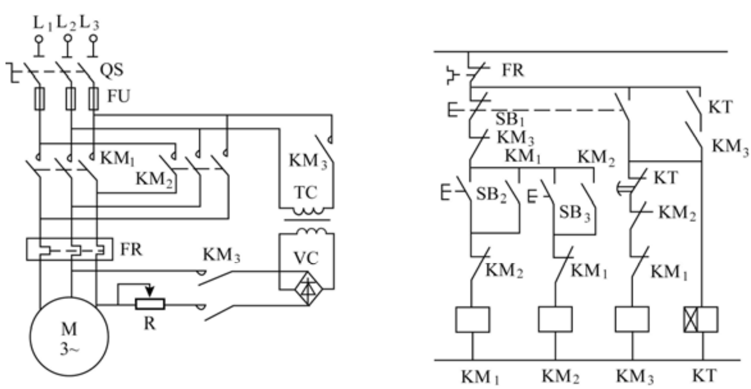


图 3.21　可逆运行能耗制动控制电路

在其正常的正向运转过程中，需要停止时，可按下停止按钮 SB_1，KM_1 断电，KM_3 和 KT 线圈通电并自锁，KM_3 常闭触头断开起着锁住电动机启动电路的作用；KM_3 常开主触头

闭合，使直流电压加至定子绕组，电动机进行正向能耗制动，转速迅速下降，当其接近零时，时间继电器延时打开的常闭触头 KT 断开接触器 KM_3 线圈电源，电动机正向能耗制动结束。由于 KM_3 常开辅助触头的复位，时间继电器 KT 线圈也随之失电。反向启动与反向能耗制动其过程与上述正向情况相同。

电动机可逆运行能耗制动也可以采用速度原则，用速度继电器取代时间继电器，同样能达到制动目的。读者可自行分析设计该电路。

3．单管能耗制动电路

上述能耗制动控制电路均有带变压器的桥式整流电路，设备多、成本高。为此，制动要求不高的场合，可采用单管能耗制动线路，该电路设备简单、体积小、成本低。

单管能耗制动电路省略了整流变压器，以单管半波整流器作为直流电源，使得控制设备大大简化，降低了成本。它常在 10kW 以下的电动机中使用。电路如图 3.22 所示，原理自行分析。

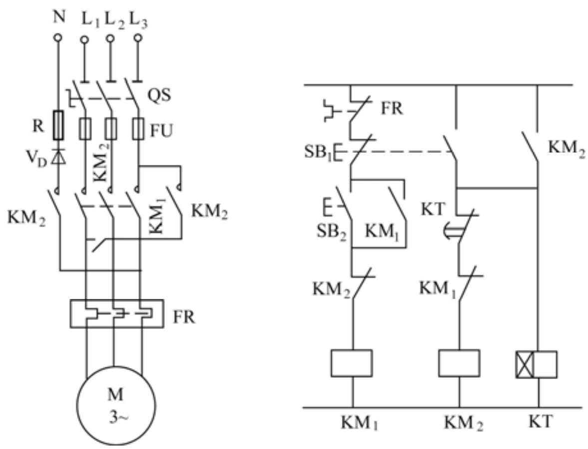


图 3.22　单管能耗制动控制电路

3.5　三相异步电动机的转速控制

改变生产机械的工作速度称为调速，包括机械调速和电气调速两种方法。机械调速是人为改变机械传动装置的传动比来实现调速的目的。而电气调速是通过改变电动机的机械特性来改变电动机的转速。

由三相异步电动机的转速公式 $n = (1-s)60f/p$ 可知，改变电动机的转速可通过三种方法来实现：一是改变电源频率 f；二是改变转差率 s；三是改变磁极对数 p。下面以变极调速为例。

因只有笼型异步电动机转子绕组的极对数能够随着定子绕组的极数变化而变化，它没有固定的极对数，所以变极调速只适用于笼型异步电动机。绕组极对数的改变可通过改变定子绕组的连接或在定子上设置具有不同极数的两套独立的绕组实现。

如图 3.23 所示为 4/2 极的双速异步电动机定子绕组接线示意图，每相绕组由两个独立线圈①和②构成。图 3.23（a）中的①、②线圈串联，绕组接成三角形，电动机以四极低速

运行；图 3.23（b）中①、②线圈并联，绕组接成双星形，电动机以两极高速运行，电流方向如虚线所示。

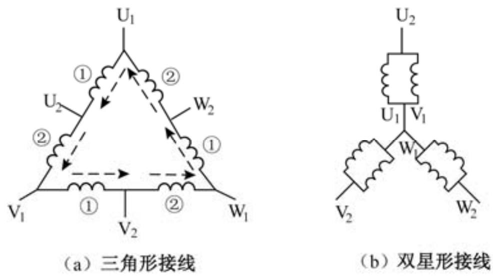


图 3.23　4/2 极的双速异步电动机定子绕组接线示意图

双速电动机启动方法可用双速开关（不能带负荷启动）或交流接触器（连接出线端）控制。图 3.24 所示为接触器实现的双速控制电路，KM_1 为三角形接触器，KM_2 为双星形接触器。

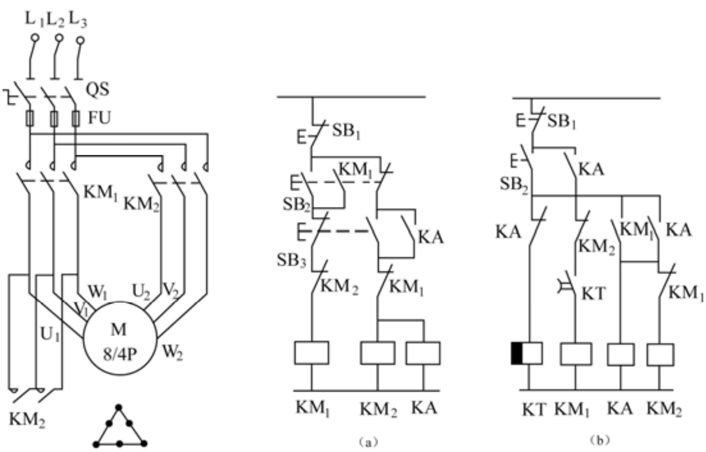


图 3.24　双速电动机的控制电路

图 3.24（a）中 SB_2 和 SB_3 为低速和高速的启动按钮。当按下 SB_2 时，KM_1 接触器通电，将电动机定子绕组接成三角形，电动机以四极低速运转；若按下 SB_3，则 KM_1 断电释放，并接通 KM_2 将电动机定子绕组接成双星形，电动机以双极高速运转。

图 3.24（b）是利用时间继电器自动实现从低速到高速转换的控制电路。时间继电器 KT 可以控制启动时间。当按下 SB_2 时，时间继电器 KT 通电，KT 的瞬时闭合常开触点立即闭合，使接触器 KM_1 通电，将电动机定子绕组接成三角形启动，并通过中间继电器 KA，使 KT 断电，经过延时后，KT 的常开触点断开，KM_1 断电，KM_2 通电，电动机自动切换为双星形运转。

3.6　其他典型环节的控制

3.6.1　顺序控制电路

在装有多台电动机的生产机械上，各电动机所起的作用是不同的，有时需按一定的顺序

启动，才能保证操作过程的合理性和工作的安全可靠。例如，X62W 型万能铣床上要求主轴电动机启动后，进给电动机才能启动；M7120 型平面磨床的冷却泵电动机，要求在砂轮电动机启动后才能启动。像这种要求一台电动机启动后另一台电动机才能启动的控制方式，叫做电动机的顺序控制。

1．主电路实现的顺序控制

图 3.25 所示为主电路实现的电动机顺序控制电路。其特点是：电动机 M_2 的主电路接在电源接触器 KM（或 KM_1）的主触头的下面，保证了只有当 KM（或 KM_1）主触头闭合，电动机 M_1 启动后，M_2 才可能启动。图 3.25（a）中，X 为接插座。图 3.25（b）中，SB_1 为 M_1 启动按钮，SB_2 为 M_2 启动按钮。

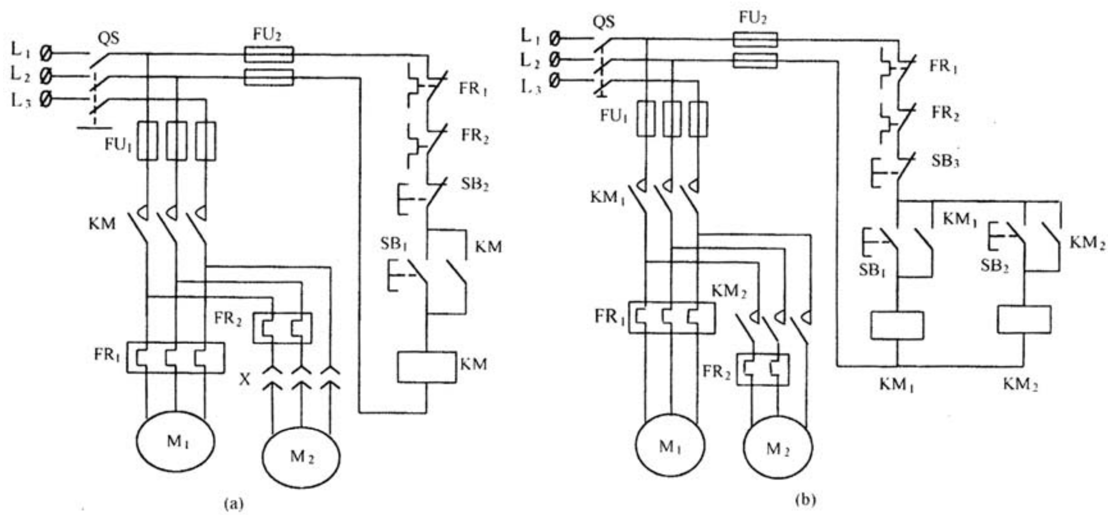


图 3.25　主电路实现的顺序控制电路

2．控制电路实现的顺序控制

图 3.26 所示为几种在控制电路中实现电动机顺序控制的线路。

图 3.26（a）所示线路的特点是，在电动机 M_2 的控制电路中串接了接触器 KM_1 的常开辅助触头。显然，只要 M_1 不启动，KM_1 常开触点不闭合，KM_2 线圈就不能得电，M_2 电动机就不能启动。

图 3.26（b）所示线路，是在图 3.26（b）线路的 SB_{12} 的两端并接了接触器 KM_2 的常开辅助触头，从而实现了 M_1 启动后，M_2 才能启动，而 M_2 停止后，M_1 才能停止的的控制要求，即顺序启动、逆序停止。

【例 3.1】 图 3.27 所示是三条皮带运输机的示意图。对于这三条皮带运输机的电气要求是：

① 启动顺序为 1 号、2 号、3 号，即顺序启动，以防止货物在皮带上堆积；

② 停车顺序为 3 号、2 号、1 号，即逆序停止，以保证停车后皮带上不残存货物；

③ 当 1 号或 2 号出故障停车时，3 号能立即停车，以免继续进料。

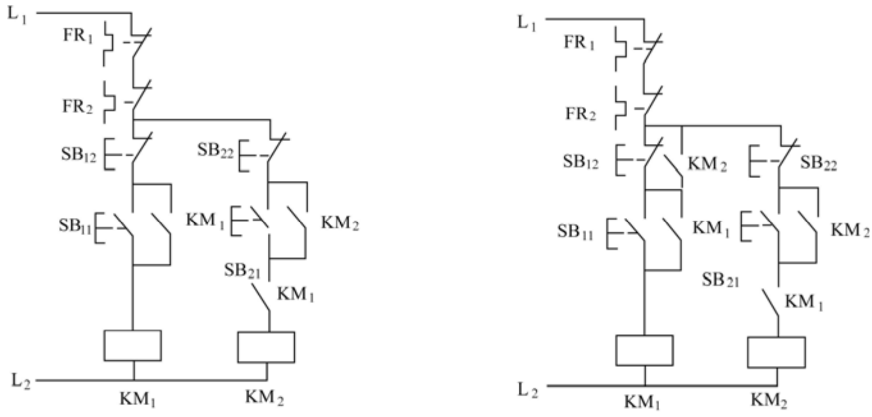


图 3.26　控制电路实现的顺序控制

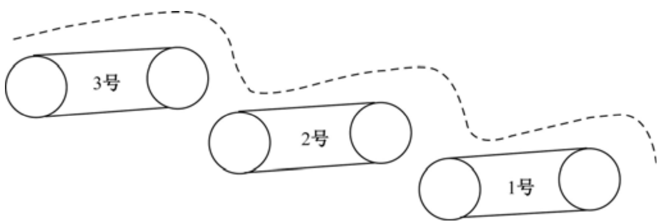


图 3.27　三条皮带运输机工作示意图

试画出三条皮带运输机的电气控制线路图，并叙述工作原理。

解：图 3.28 所示控制线路可满足三条皮带运输机的电气控制要求。其工作原理如下。

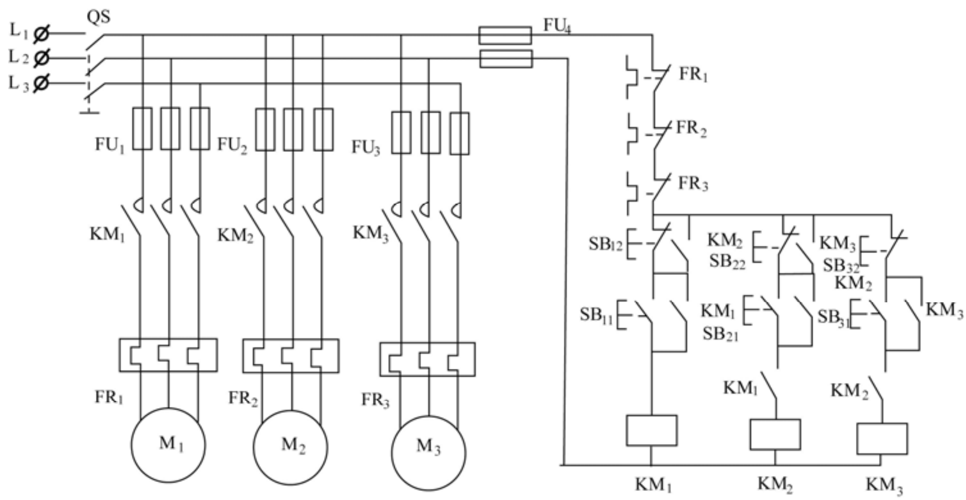


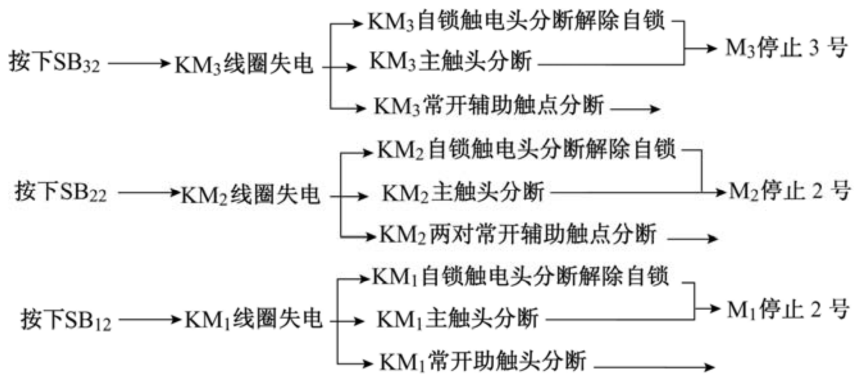
图 3.28　三条皮带运输机顺序启动、逆序停止控制电路

（1）合上电源开关 QS。

（2）M_1（1 号），M_2（2 号），M_3（3 号）依次顺序启动。



（3）M_3（3 号），M_2（2 号），M_1（1 号）依次逆序停止。



三台电动机都用熔断器和热电器作短路和过载保护，三台中任何一台出现过载故障，三台电动机都会停车。

3.6.2 多地控制电路

能在两地或多地控制同一台电动机的控制方式叫电动机的多地控制。

图 3.29 所示为两地控制电路。其中 SB_{11}，SB_{12} 为安装在甲地的启动按钮和停止按钮；

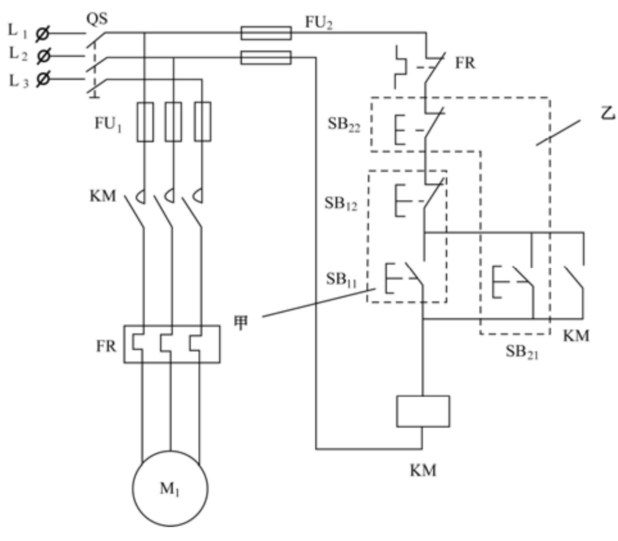


图 3.29 两地控制电路

SB_{21}，SB_{22} 为安装在乙地的启动按钮和停止按钮。线路的特点是：两地的启动按钮并联在一起，停止按钮串联在一起。这样就可以分别在甲、乙两地启、停同一台电动机，达到操作方便的目的。

对同台电动机进行三地控制或多地控制，只要在各地的启动按钮并联，停止按钮串联就可以实现。

3.7　电动机的保护控制

电气控制系统除了能满足生产机械加工要求外，还应保证设备长期安全、可靠无故障地运行。因此保护环节是所有电气控制系统不可缺少的组成部分。利用它来保护电动机、电网、电气控制设备及人身安全等。

电气控制系统中常对电动机实施一定的保护，以保证设备的正常运行，其形式主要有短路保护、过载保护、零压、欠压保护及弱磁保护等。

3.7.1　短路保护

电机、电器以及导线的绝缘损坏或线路发生故障时，都可能造成短路事故。很大的短路电流和电动力可能使电器设备损坏。因此，在发生短路故障时，保护电器必须立即动作，迅速将电源切断。

常用的短路保护电器是熔断器和自动空气断路器。

3.7.2　过载保护

当电动机负载过大，启动操作频繁或缺相运行时，会使电动机的工作电流长时间超过其额定电流，电动机绕组过热，温升超过其允许值，导致电动机的绝缘材料变脆，寿命缩短，严重时会使电机损坏。因此，当电动机过载时，保护电器应动作切断电源，使电动机停转，避免电动机在过载下运行。

常用的过载保护元件是热继电器。由于热惯性的原因，热继电器不会受到电动机短时过载冲击电流的影响而瞬时动作，所以在使用热继电器作过载保护的同时，还必须有短路保护，并且选做短路保护的熔断器熔体的额定电流不应超过 4 倍热继电器发热元件的额定电流。

3.7.3　过电流保护

如果在直流电动机和交流绕线式异步电动机启动或制动时，限流电阻被短接，将会造成很大的启动或制动电流。另外，负载的加大也会导致电流增加。过大的电流将会使电动机或机械设备损坏。因此，对直流电动机或绕线式异步电动机常采用过电流保护。

过电流保护常用电磁式过电流继电器实现。当电动机通过电流达到电流继电器的动作值时，继电器动作，使串联在控制电路中的常闭触头断开、切断控制电路，电动机随之脱离电源停转，达到了过流保护的目的。一般过电流的动作值为启动电流的 1.2 倍。

短路、过电流、过载保护虽然都是电流保护，但由于故障电流、动作值及保护特性、保护要求以及使用元件的不同，它们之间是不能相互取代的。

3.7.4 欠压保护

当电网电压降低时，电动机便在欠压下运行。由于电动机的负荷没有改变，所以欠压下电动机转速下降，定子绕组中的电流增加。因为电流增加的幅度尚不足以使熔断器和热继电器动作，所以两种电器起不到保护作用。如不采取保护措施，时间一长将会使电动机过热而损坏。另外，欠电压将引起一些电器释放，使电路不能正常工作。因此，应避免电动机在欠压状态下运行。

实现欠压保护的电器是接触器和电磁式电压继电器。在机床电气控制线路中，只有少数线路专门设了电磁式电压继电器。而大多数控制线路，由于接触器已兼有欠压保护功能，所以不再加设欠压保护器。一般当电网电压降低到额定电压 85%以下时，接触器（或电压继电器）触头会释放。

3.7.5 零压保护（失压保护）

生产机械在工作时，如果由于某种原因而发生电网突然停电，那么在电源电压恢复时，电动机便会自行启动运转，导致人身和设备事故，并引起电网过电流和瞬时网络电压下降。为了防止在此种情况下出现电动机自行启动而实施的保护叫做零电压保护。

常用的失压保护电器是接触器和中间继电器。当电网停电时，接触器和中间继电器触头复位，切断主电路和控制电源。当电网恢复供电时，若不重新按下启动按钮，电动机就不会自行启动，实现了失压保护。

【例 3.2】 如图 3.30 所示是电动机常用保护电路，指出了各电器元件所起的保护作用。

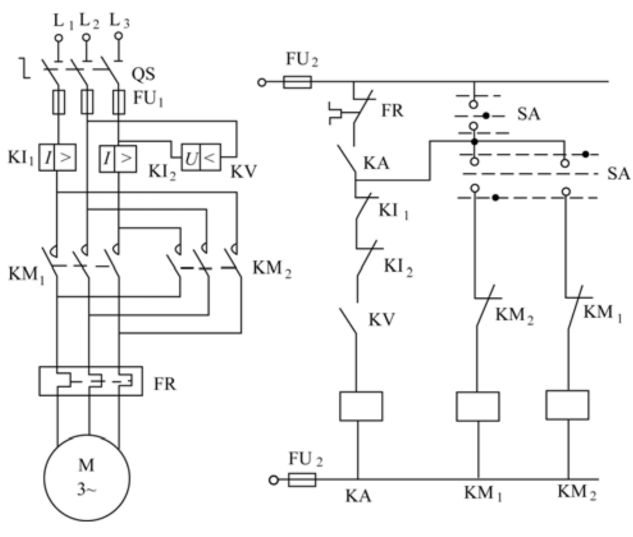


图 3.30 电动机的常用保护线路

解： 各元件与其所起的保护作用对应如下。

短路保护——熔断器 FU；

过载保护——热继电器 FR；

过流保护——热电流继电器 KI_1，KI_2；

零压保护——中间继电器 KA，接触器 KM_1，KM_2；

欠压保护——欠电压继电器 KV，接触器 KM_1，KM_2；
联锁保护——通过 KM_1，KM_2 互锁点实现。

3.7.6　过电压保护

电磁铁、电磁吸盘等大电感负载及直流电磁机构、直流继电器等，在通断时会产生较高的感应电动势，将使电磁线圈绝缘击穿而损坏。因此，必须采用过电压保护措施。通常过电压保护是在线圈两端并联一个电阻，电阻串电容或二极管串电阻，以形成一个放电回路，实现过电压的保护。

3.7.7　弱磁保护

直流电动机在磁场有一定强度下才能启动，否则应采取“弱磁保护”。因为如果磁场太弱，电动机的启动电流就会很大；另外当直流电动机正在运行时，磁场突然减弱或消失，会使电动机转速迅速升高，甚至发生“飞车”现象。弱磁保护是通过在电动机励磁回路中串入欠电流继电器来实现的。在电动机运行中，如果励磁电流消失或降低太多，欠电流继电器就会释放，其触点切断主回路接触器线圈的电源，使电动机断电停车。

3.7.8　其他保护

除上述保护外，还有超速保护、行程保护、油压（水压）保护等，这些都是在控制电路中串接一个受这些参量控制的常开触头或常闭触头来实现对控制电路的电源控制来实现的。这些装置有离心开关、测速发电机、行程开关、压力继电器等。

3.8　电控线路故障诊断与维修

电气设备的维修包括日常维护保养和故障检修两方面的工作。

3.8.1　电气设备的维护和保养

1．电气设备日常维护保养的重要性

各种电气设备在运行过程中会产生各种各样的故障，致使设备停止运行而影响生产，严重的还会造成人身或设备事故。引起电气设备故障的原因，除部分是由于电器元件的自然老化引起外，还有相当部分的故障是因为忽视了对电气设备的日常维护和保养，以致使小毛病发展成大事故，还有些故障则是由于电气维修人员在处理电气故障时的操作方法不当，或因缺少配件凑合行事，或因误判断、误测量而扩大了事故范围所造成。所以为了保证设备正常运行，以减少因电气修理的停机时间，提高劳动生产率，必须十分重视对电气设备的维护和保养。另外根据各厂设备和生产的具体情况，应储备部分必要的电器元件和易损配件等。

2．日常维护

电力拖动电路和机床电路的日常维护对象有电动机，控制、保护电器及电气线路本身。维护内容如下：

（1）检查电动机。定期检查电动机相绕组之间、绕组对地之间的绝缘电阻；电动机自身转动是否灵活；空载电流与负载电流是否正常；运行中的温升和响声是否在限度之内；传动装置是否配合恰当；轴承是否磨损、缺油或油质不良；电动机外壳是否清洁。

（2）检查控制和保护电器。检查触点系统吸合是否良好，触点接触面有无烧蚀、毛刺和穴坑；各种弹簧是否疲劳、卡住；电磁线圈是否过热；灭弧装置是否损坏；电器的有关整定值是否正确。

（3）检查电气线路。检查电气线路接头与端子板、电器的接线桩接触是否牢靠，有无断落、松动，腐蚀、严重氧化现象；线路绝缘是否良好；线路上是否有油污或脏物。

（4）检查限位开关。检查限位开关是否能起限位保护作用：重在检查滚轮传动机构和触点工作是否正常。

3.8.2 电控线路的故障检修

控制线路是多种多样的，它们的故障往往和机械、液压、气动系统交错在一起，较难分辩。不正确的检修会造成人身事故，因此必须掌握正确的检修方法。一般的检修方法及步骤如下。

1. 检修前的故障调查

问：首先向机床的操作者了解故障发生的前后情况，是首次发生还是经常发生；是否有烟雾、跳火、异常声音和气味出现；有何失常和误动；是否经历过维护、检修或改动线路等。

看：观察与嗅感熔体是否熔断；电器元件有无发热、烧毁、触点熔焊、接线松动、脱落及断线等情况。

听：倾听电机、变压器和电器元件运行时的声音是否正常。

摸：电机、变压器和电磁线圈等发生故障时，温度是否显著上升，有无局部过热现象。

2. 根据电路、设备的结构及工作原理直观查找故障范围

弄清楚被检修电路、设备的结构和工作原理是循序渐进、避免盲目检修的前提。检查故障时，先从主电路入手，看拖动该设备的几个电动机是否正常。然后逆着电流方向检查主电路的触点系统、热元件、熔断器、隔离开关及线路本身是否有故障。接着根据主电路与二次电路之间的控制关系，检查控制回路的线路接头、自锁或联锁触点、电磁线圈是否正常，检查制动装置、传动机构中工作不正常的范围，从而找出故障部位。如能通过直观检查发现故障点，如线头脱落、触点、线圈烧毁等，则检修速度更快。

3. 从控制电路动作顺序检查故障范围

通过直接观察无法找到故障点时，在不会造成损失的前提下，切断主电路，让电动机停转。然后通电检查控制电路的动作顺序，观察各元件的动作情况。如某元件该动作时不动作，不该动作时乱动作，动作不正常、行程不到位、虽能吸合但接触电阻大或过大，或有异响等，故障点很可能就在该元件中。当认定控制电路工作正常后，再接通主电路，检查控制电路对主电路的控制效果，最后检查主电路的供电环节是否有问题。

4．仪表测量检查

利用各种电工仪表测量电路中的电阻、电流、电压等参数，可进行故障判断。常用方法有：

（1）电压测量法。电压测量法即根据电压值来判断电器元件和电路的故障所在，检查时把万用表扳到交流电压 500V 挡位上。它有分阶测量、分段测量、对地测量三种方法，分别介绍如下。

① 分阶测量法。如图 3.31 所示，若按下启动按钮 SB_2，接触器 KM_1 不吸合，说明电路有故障。

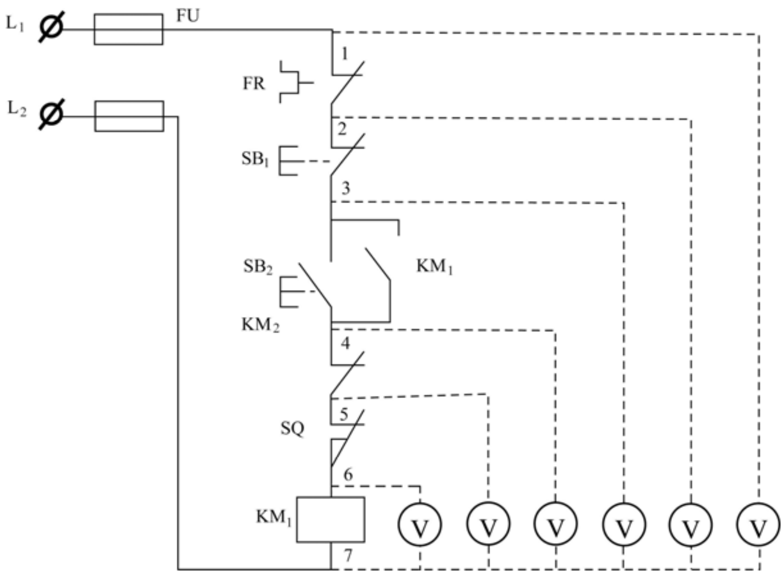


图 3.31　电压的分阶测量法

检修时，首先用万用表测量 1，7 两点电压，若电路正常，应为 380V。然后按下启动按钮 SB2 不放，同时将黑色表棒接到 7 点，红色表棒依次接 6，5，4，3，2 点，分别测 7，6 之间；7，5 之间；7，4 之间；7，3 之间；7，2 之间各阶电压。电路正常时，各阶电压应为 380V。如测到 7，6 之间无电压，说明是断路故障，可将红色表棒前移，当移到某点电压正常时，说明该点以后的触头或接线断路，一般是此点后第一个触头或连线断路。

② 分段测量法。如图 3.32 所示，即先用万用表测试 1，7 两点电压，电压为 380V，说明电源电压正常。然后逐段测量相邻两点 1 和 2，2 和 3，3 和 4，4 和 5，5 和 6，6 和 7 的电压。如电路正常，除 6，7 两点电压等于 380V 外，其他任意相邻两点间的电压都应为零。如测量某相邻两点电压为 380V，说明两点所包括的触头及其连接导线接触不良或断路。

③ 对地测量法。机床电气控制线路接在 220V 电压且零线直接接在机床床身时，可采用对地测量法来检查电路的故障。

如图 3.33 所示，用万用表的黑表棒逐点测试 1，2，3，4，5，6 等各点，根据各点对地电压来检查线路的电气故障。

（2）电阻测量法。

① 分阶电阻测量法。如图 3.34 所示，按启动按钮 SB_2，若接触器 KM_1 不吸合，说明电气回路有故障。

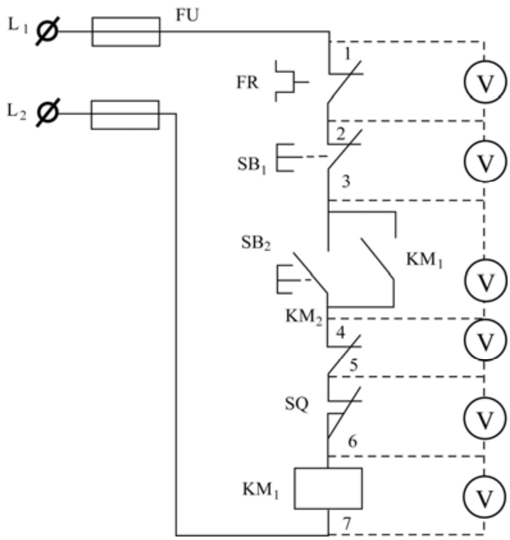


图 3.32　电压的分段测量法

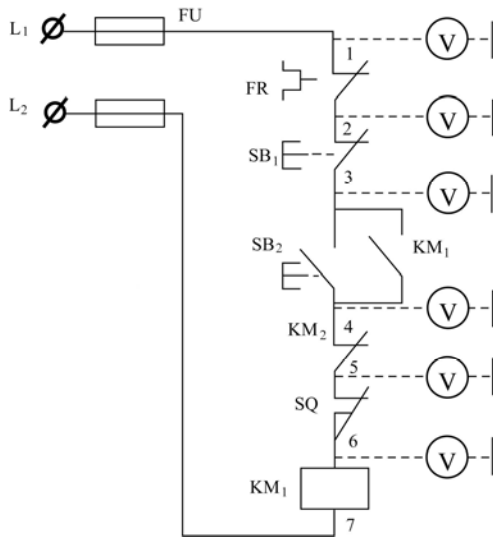


图 3.33　电压的对地测量法

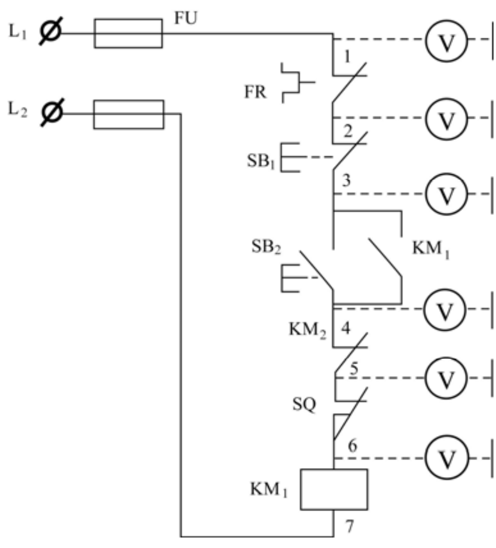


图 3.34　分阶电阻测量法

检查时，先断开电源，按下 SB_2 不放，用万用表电阻挡测量 1，7 两点电阻。如果电阻无穷大，说明电路断路；然后逐段测量 1 和 2，1 和 3，1 和 4，1 和 5，1 和 6 各点之间的电阻值。若测量某点的电阻突然增大时，说明表棒跨接的触头或连接线接触不良或断路。

② 分段电阻测量法。如图 3.35 所示，检查时切断电源，按下 SB_2，逐段测量 1 和 2，2 和 3，3 和 4，4 和 5，5 和 6 两点间的电阻。如测得某两点间电阻很大，说明该触头接触不良或导线断路。

③ 短接法。即用一根绝缘良好的导线将怀凝的断路部位短接。有局部短接法和长短接法两种。图 3.36 所示为局部短接法，用一绝缘导线分别短接 1 和 2，2 和 3，3 和 4，4 和 5，5 和 6 两点，当短接到某两点时，接触器 KM_1 吸合，则断路故障就在这里。

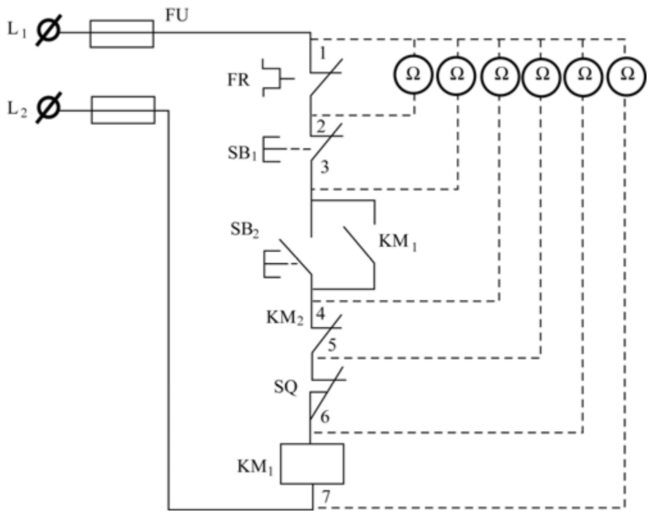


图 3.35　分段电阻测量法

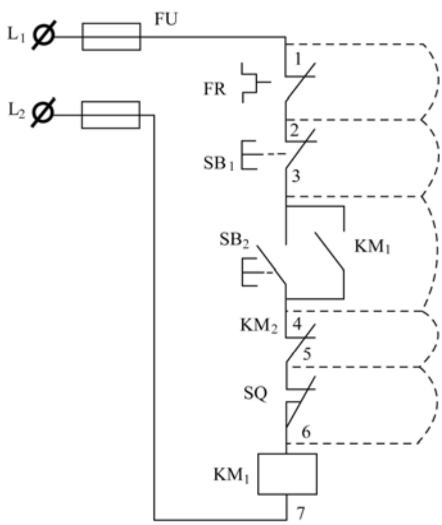


图 3.36　局部短接法

如图 3.37 所示为长短接法，它一次短接两个或多个触头，与局部短接法配合使用，可缩小故障范围，迅速排除故障。例如，当 FR，SB_1 的触头同时接触不良时，仅测 1，2 两点电阻会造成判断失误。而用长短接法将 1，6 短接，如果 KM_1 吸合，说明 1，6 这段电路让有故障；然后再用局部短接法找出故障点。

5．机械故障检查

在电力拖动中有些信号是机械机构驱动的，如机械部分的联锁机构、传动装置等发生故障，即使电路正常，设备也不能正常运行。在检修中，应注意机械故障的特征和现象，找出故障点，并排除故障。

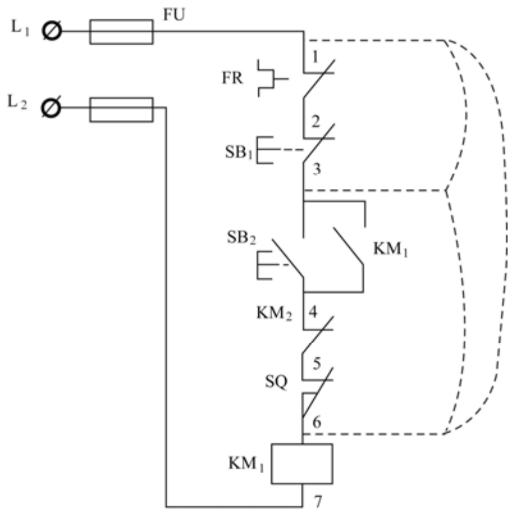


图 3.37　长短接法

【内容检核】

（1）本章主要讲述了电气控制系统的基本线路——三相异步电动机的启停、正反转、制动、调速等控制线路。它们是分析和设计机械设备电气控制线路的基础。

（2）正确分析和阅读各类电气控制系统图，掌握规定画法及国家标准。

（3）电气原理图的分析程序是：主电路→控制电路→辅助电路→联锁、保护环节→特殊控制环节，先化整为零进行分析，再集零为整，进行总体检查。最基本的分析方法是查线分析法。

（4）各类电动机在启动控制中，应注意避免过大的启动电流对电网及传动机械的冲击作用，小容量电动机（10kW 以下）允许直接启动控制方式；大容量或启动负载大的场合应采用降压启动（串电阻、串电抗、星形－三角形转换、自耦变压器、延边三角形等方式）的控制方式；绕线式异步电动机则采用转子回路串电阻或串频敏变阻器等方法限制启动电流。各类启动方法及特点如表 3.1 所示。

表 3.1　异步电动机启动方法及特点

类　型	启动方法	使用场合	特　点
笼型电动机	直接启动	电动机容量小于 10kW	不需要各种启动设备，启动电流大
	定子回路串电阻启动	电动机容量不大，启动不频繁且平稳场合	启动转矩增加较大，加速平滑，电路简单，价格低，功率因数高，电阻损耗大
	星形-三角形启动	轻负载启动，且正常为三角形接法	启动电流、转矩较小，为额定的 1/3
	延边三角形启动	正常为三角形接法，要求启动转矩较大	启动电流、启动转矩较星形－三角形启动大，电机要有九根线，接线复杂
	自耦变压器启动	电动机容量较大，要求限制电网的冲击电流	启动转矩大，加速平稳，损耗低，设备较庞大，成本高
绕线型电动机	转子串电阻启动	调速要求不高，电动机容量不大的场合	启动转矩大、功率因数高，但逐段减小电阻时，电流转矩突然增大，产生机械冲击力，转矩不平滑，且电路较复杂
	转子串频敏变阻器	大容量电动机启动	平滑无级启动，近似于恒转矩启动，电路简单，功率因数低，启动转矩较小，不适合重载启动

（5）电动机运行中的点动、连续运转、正反转、自动循环以及调速控制等单元线路通常是采用各种主令电器、控制电器及控制触点按一定的逻辑关系的不同组合来实现，其共同规律有如下几点。

① 几个条件中只要有一个条件满足，接触器线圈就得电，可以采用并联接法（或逻辑）；

② 只有所有条件都具备，接触器才得电，可采用串联接法（与逻辑）；

③ 要求第一个接触器得电后，第二个接触器才能得电（或不允许得电），可以将前者常开（或常闭）触头串接在第二个接触器线圈的控制电路中，或者第二个接触器控制线圈的电源从前者的自锁触头后引入；

④ 连续运转与点动控制的区别仅在于自锁触头是否起作用。

（6）常用的制动方式有反接制动和能耗制动，制动控制线路设计应考虑限制制动电流和避免反向再启动。前者是在主电路中串限流电阻实现，采用速度继电器进行控制。后者通入直流电流产生制动转矩，采用时间继电器进行控制。制动方法及特点如表 3.2 所示。

表 3.2　异步电动机的制动方法及特点

类　型	制动方法	使用场合	特　点
笼型电动机	能耗制动	要求平稳制动	制动能耗小，制动准确度不高，需直流电源，设备费用高
	反接制动	制动要求迅速，系统惯性大，制动不频繁的场合	设备简单，调整方便，制动迅速，价格低，制动冲击大，准确性差，能耗大，不宜频繁制动，需加装速度继电器
绕线型电动机	能耗制动	电动机单向运行	制动准确度不高，需直流电源
	反接制动	电动机可逆运行	采用一级制动电阻，按速度原则控制

（7）电动机的控制原则。电动机的启动、变速、反向与制动等，按不同参数的变化来实现自动控制，称为电力拖动自动控制原则。主要有时间原则、速度原则、行程原则等。各种控制原则、特点、和使用场合如表 3.3 所示，选择控制原则时，除考虑其本身特点外，还应考虑电力拖动系统提出的基本要求，如工艺要求、安全可靠性、操作维修等因素。

表 3.3　电动机的控制原则

控制原则	使用场合	特　点
时间原则	交直流电动机的启动、能耗制动及按一定时间动作的控制电路	电路简单，不受电压、电流影响，对于任何型号电动机都适合
速度原则	直流电动机与笼型电动机的反接制动	电路简单，控制加速时受电网电压影响，制动时则无影响
电流原则	绕线电动机的分级启动、制动及电路的过流、欠流保护	电路联锁较复杂，可靠性差，受各种电路参数影响
行程原则	反应运动部件运动位置的控制	电路简单，不受各种参数影响只反映运动部件的位置

（8）电气控制电路的联锁与保护环节。为了保证电力拖动控制系统中电动机、各种电器和控制电路能正常运行，消除可能出现的有害因素，并在出现电气故障时，尽可能使故障

缩小到最小范围，以保障人身和设备的安全，必须对电力控制系统设置必要的联锁和保护环节。

① 联锁环节。在控制电路中可设置电气联锁与机械联锁，常用的有互锁环节，动作顺序联锁环节，电气元件与机械操作手柄的联锁等。以保证生产工艺的实现与电路安全可靠地工作。

② 保护环节。常用的电动机保护环节有短路保护、过电流保护、热保护、零电压保护、欠电压保护、弱磁场保护及超速保护等。



思考与练习

1．电气原理图中 QS，FU，FR，KM，KA，KI，KT，SB，SQ 分别是什么电器元件的文字符号。

2．电动机有哪些保护环节？分别由什么元件实现？

3．分析图 3.38 中各控制电路，并按正常操作时出现的问题加以改进。

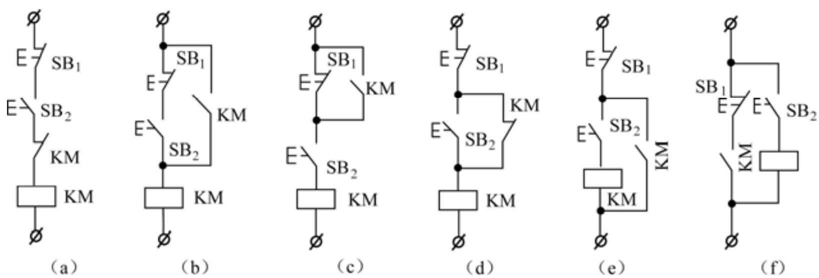


图 3.38　控制电路示例一

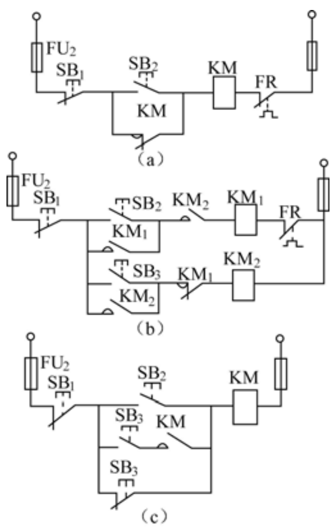


图 3.39　控制电路示例二

4．画出带有热继电器过载保护的笼型异步电动机正常启动运转的控制线路。

5．如何确定异步电动机应采用直接启动？还是降压启动？

6．叙述笼型异步电动机星形－三角形启动法的优缺点及应用场合。

7．如图 3.39 所示，控制电路各有什么错误？应如何改正？

8．画出笼型异步电动机用自耦变压器启动的控制线路。

9．画出具有双重互锁的异步电动机正、反转控制线路。

10．何为反接制动？何为能耗制动？各有什么特点及应用场合？

11．设计一个控制线路，要求第一台电动机启动 10s 后，第二台电动机自动启动。运行 5s 后，第一台电动机停止并同时使第三台电动机自行启动，再运行 15s 后，电动机全部停止。

12．为两台异步电动机设计一个控制线路，其要求如下：

① 两台电动机互不影响地独立工作；

② 能同时控制两台电动机的启动与停止；

③ 当一台电动机发生故障时，两台电动机均停止。

13．有一台四级皮带运输机，分别由 M_1，M_2，M_3，M_4 四台电动机拖动，其动作顺序如下：

① 要求按 $M_1 \rightarrow M_2 \rightarrow M_3 \rightarrow M_4$ 顺序启动；

② 要求按 $M_4 \to M_3 \to M_2 \to M_1$ 顺序停车；

③ 上述动作要求有一定时间间隔。

14．设计一小车运行的控制线路，小车由异步电动机拖动，其动作程序如下：

① 小车由原位开始前进，到终端后自动停止；

② 在终端停留 2min 后自动返回原位停止；

③ 要求能在前进或后退途中任意位置能停止或启动。

15．现有一双速电动机，试按下述要求设计控制线路。

① 分别用两个按钮操作电动机的高速启动和低速启动，用一个总停按钮操作电动机的停止。

② 启动高速时，应先接成低速，经延时后再换接到高速。

③ 有短路保护与过载保护。

实验 3.1　自耦变压器降压启动控制

【实验目的】

① 学会观察自耦变压器降压启动电路的物理特性。

② 学会分析自耦变压器降压启动控制电路的方法。

【实验器材】

三相笼型异步电动机（14kW）、自耦变压器各 1 台；接触器、熔断器各 2 只；热继电器、时间继电器、停止按钮、启动按钮、电源开关各 1 只；电工工具及导线。

【实验线路】

如图 3.40 所示。

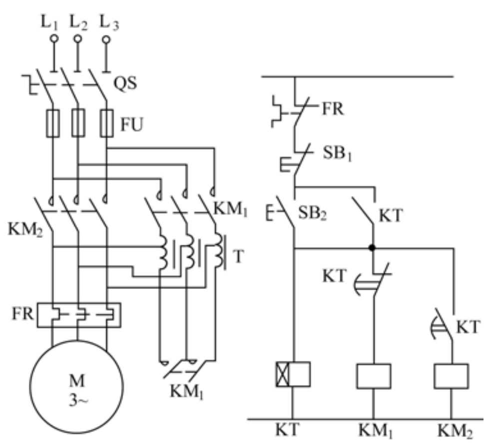


图 3.40　自耦变压器降压启动控制线路

【实验步骤】

① 检查各电器元件质量情况，了解其使用方法。

② 按电路原理图正确联接线路，先接主电路，后接辅助电路。

③ 自己检查线路无误后，请老师认可，然后通电试验。尤其注意延时通断的触点是否正确，延时长短是否合适。

④ 操作启动按钮和停止按钮观察电动机的运行情况。如发现故障应立即断开电源，分

析原因，排除故障后再送电。

⑤ 改变自耦变压器的二次抽头连接，重复以上操作，观察电动机启动及运行情况。

⑥ 观察 FR 动作对线路的影响（可手动断开触点试验）。

【实验思考】

① 自耦变压器降压启动适用于什么场合？如何改变电动机的启动转矩？

② 时间继电器在本电路的作用？如果常开触点、常闭触点接错会发生什么现象？

③ 若实验中发现，一接通电源电动机立即启动旋转，是何原因？按下停止按钮电动机停不下来，又是何原因？

④ 分析实验中遇到的故障现象，并画电路图。

实验 3.2　三相异步电动机的反接制动控制

【实验目的】

① 学习观察三相异步电动机反接制动电路的物理特性。

② 学会分析三相异步电动机反接制动电路的方法。

③ 了解速度继电器的结构、原理及使用方法。

【实验器材】

三相笼型异步电动机一台；电源开关、速度继电器、热继电器、滑线变阻器各一只；交流接触器、控制按钮、熔断器各两只；电工工具及导线。

【实验线路】

如图 3.41 所示。

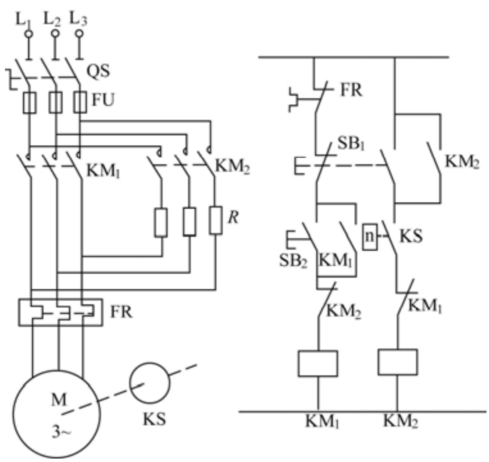


图 3.41　三相异步电动机反接制动控制线路

【实验步骤】

① 检查电器元件的质量情况，了解其使用方法，重点以速度继电器的原理、使用为主。

② 按图接线，核实后通电。

③ 操作启动按钮、停止按钮观察电动机的制动情况。

④ 调节 R 的大小观察电动机的制动效果。

⑤ 观察速度继电器在制动过程中的状态变化。

【实验思考】

① 速度继电器选择的触点动作方向与电动机实际转向不同时，电路工作中将出现什么现象？

② 当 SB_1 没有按到底，会出现什么现象？

③ 实验中曾发生什么故障？为什么？是如何排除的？

技能训练 3.1　用按钮和接触器控制的电动机单向运行电路的安装

【训练要求】

学会安装用按钮和接触器控制的单向运转电路，能正确布线，并能排除简易故障。

【训练工具】

万用表、螺丝刀、钢丝钳、尖嘴钳、电工刀、控制按钮、交流接触器、电动机、热继电器、熔断器、隔离开关，导线。

【训练步骤】

① 按图 3.42 所示电路，清理并检测所需元件，将元件型号、规格、质量检查情况记入表 3.4 中。

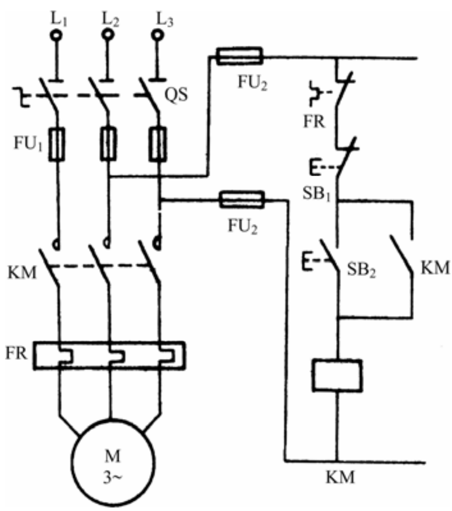


图 3.42　电动机单向连续运行控制电路

表 3.4　电动机单向运转控制电路元件清单

元件名称	型　号	规　格	数　量	是否合用
接触器				
启动按钮				
停止按钮				
热继电器				
主电路熔断器				
控制电路熔断器				
隔离开关				
电动机				

② 在事先准备好的配电板上，参照图 3.42 所示布置元件，然后接好线路，画出元器件实际位置图和布线示意图。

③ 在已安装完工经检查合格的电路上，人为设置故障，通电运行，观察故障现象，并将故障现象记入表 3.5 中。

表 3.5　电动机单向运行运转电路故障分析表

故障设置元件	故 障 点	故 障 现 象
常开按钮	触点不能接触	
接触器	线圈接点开路	
接触器	自锁触点开路	
接触器	一相触点不能接触	
接触器	两相触点不能接触	
热继电器	整定值调得太小	
热继电器	常闭触点不能接触	

注：触点开路故障可在触点间塞入纸屑隔离。

技能训练 3.2　电动机可逆运行控制电路的安装

【训练要求】

学会安装用按钮和接触器辅助触点作互锁的电动机可逆运行控制电路，进一步熟悉电气布线，并排除简易故障。

【训练工具】

万用表、螺丝刀、钢丝钳、尖嘴钳、电工刀、控制按钮、交流接触器、电动机、热继电器、熔断器、隔离开关、导线。

【训练步骤】

① 按图 3.43 所示电路，清理并检测所需元件，将元件型号、规格、质量检查情况记入表 3.6 中。

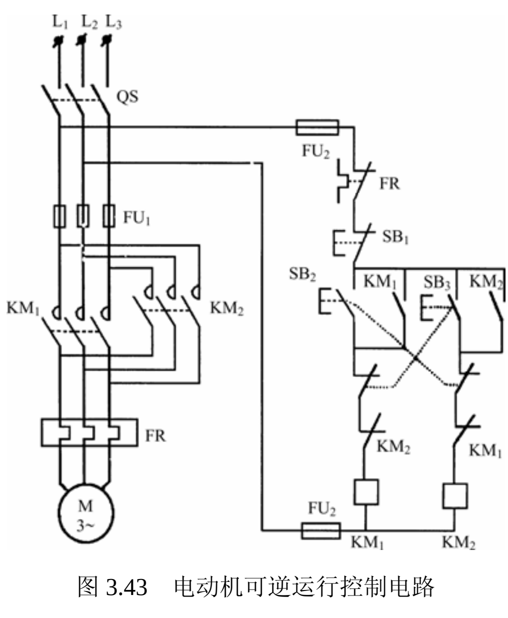


图 3.43　电动机可逆运行控制电路

表 3.6　电动机可逆运转控制电路元件清单

元件名称	型　号	规　格	数　量	是否合用
接触器				
启动按钮				
停止按钮				
热继电器				
主电路熔断器				
控制电路熔断器				
隔离开关				
电动机				

② 在事先准备好的配电板上，参照图 3.43 所示布置元件，并连好电路，画出元器件实际位置图和布线示意图。

③ 在已安装完工经检查合格的电路上，人为设置故障，通电运行，观察故障现象，并将故障现象记入表 3.7 中。

表 3.7　电动机可逆运行电路故障分析表

故障设置元件	故　障　点	故障现象
反转启动按钮	触点不能接触	
正转接触器	联锁触点开路	
反转接触器	自锁触点开路	
反转接触器	一相触点不能接触	
控制电路熔断器	熔丝熔断	
热继电器	动作后没有复位	

技能训练 3.3　笼型异步电动机Y—△启动电路的安装

【训练要求】

学会安装笼型异步电动机的 Y—△启动控制电路。

【训练工具】

万用表、螺丝刀、钢丝钳、尖嘴钳、电工刀、控制按钮、Y—△启动器、绕组为三角形连接的电动机、热继电器、熔断器、隔离开关，导线。

【训练步骤】

① 按图 3.44 所示电路，清理并检测所需元件，将元件型号、规格、质量检查情况记入表 3.8 中。

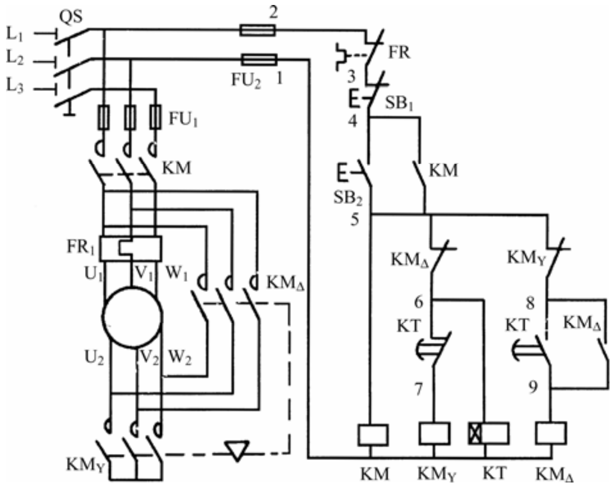


图 3.44　Y—△启动控制电路

表 3.8　Y—△启动控制电路元件清单

元 件 名 称	型　　号	规　　格	数　　量	是 否 合 用
Y—△启动器				
启动按钮				
停止按钮				
热继电器				
主电路熔断器				
控制电路熔断器				
隔离开关				
电动机				

② 在事先准备好的配电板上，参上图所示布置元件，然后接好线路，画出元器件实际位置和布线示意图。

③ 在通电运行、动作无误的电路上，设置故障后观察故障现象并记入表 3.9 中。

表 3.9　电动机 Y—△启动控制电路故障分析表

故障设置元件	故　障　点	故 障 现 象
接触器 KM	线圈端子接触松脱	
接触器 KM	自锁触点开路	
接触器 KM_Y	联锁触点开路	
接触器 KM_Y	一相触点不能接触	
接触器 $KM_\triangle$	自锁触点开路	

第 4 章　常用机床的电气控制

学习目标

◆ 知识目标　了解各种常用机床的主要结构及运动情况；掌握机床电气控制电路的工作原理、常见故障原因；了解组合机床的主要组成部件及其控制电路的基本环节。

◆ 能力目标　能阅读和分析常用机床简单电气控制原理图；能装配和简单调试机床电气控制电路；能处理各种机床控制电路的简单故障。

重点和难点

◆ 重点　各种机床常用机床的主要结构、工作情况及其常见故障；组合机床的主要组成及其控制电路基本环节。

◆ 难点　各种常用机床的工作情况及常见故障分析与排除。

在各种机械加工设备中，机床是其中的主要装备。它种类繁多，应用广泛。下面对车床、磨床、钻床、铣床等常用典型设备及其电气控制部分进行分析和介绍。

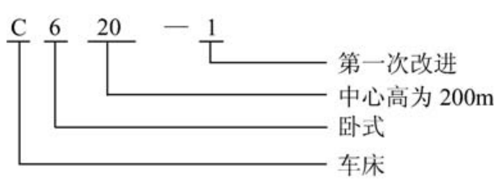
4.1　车床的电气控制

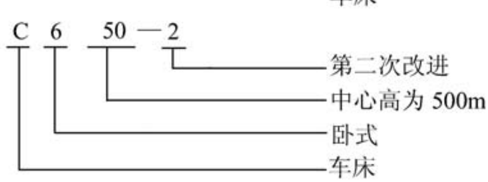
车床是机械加工业中应用最广泛的一种机床，约占机床总数的 25%～50%。在各种车床中，应用最多的就是普通车床。

普通车床主要用来车削外圆、内圆、端面和螺纹等，还可以安装钻头或铰刀等进行钻孔和铰孔等项加工。本节对应用较多的 C620－1，C650－2 型普通车床进行分析。

4.1.1　普通车床的主要结构及运动形式

1．型号含义





2．主要结构及运动形式

普通车床主要由床身、主轴变速箱、挂轮箱、进给箱、溜板箱、溜板与刀架、尾架、光杠、丝杠等部分组成，如图 4.1 所示。

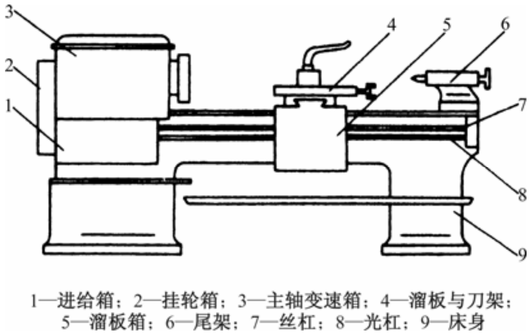


图 4.1　普通车床结构示意图

车床在加工各种旋转表面时必须具有切削运动和辅助运动。切削运动包括主运动和进给运动，而切削运动以外的其他运动皆为辅助运动。

车床的主运动为工件的旋转运动，由主轴通过卡盘或顶尖去带动工件旋转，它承受车削加工时的主要切削功率。车削加工时，应根据被加工零件的材料性质、工件尺寸、加工方式、冷却条件及车刀等来选择切削速度，这就要求主轴能在较大的范围内调速。对于普通车床，调速范围一般大于 70。调速可通过控制主轴变速箱外的变速手柄来实现。车削加工时一般不要求反转，但在加工螺纹时，为避免乱扣，要求反转退刀，再纵向进刀继续加工，这就要求主轴具有正、反转。主轴旋转是由主轴电动机经传动机构拖动的，因此主轴的正、反转可通过操作手柄采用机械方法获得。

车床的进给运动是刀架的纵向或横向直线运动，其运动形式有手动和机动两种。加工螺纹时工件的旋转速度与刀具的进给速度应有严格的比例关系，所以车床主轴箱输出轴经挂轮箱传给进给箱，再经光杠传入溜板箱，以获得纵、横两个方向的进给运动。

车床的辅助运动有刀架的快速移动和工件的夹紧与放松。

如图 4.2 所示为普通车床传动系统的方框图。

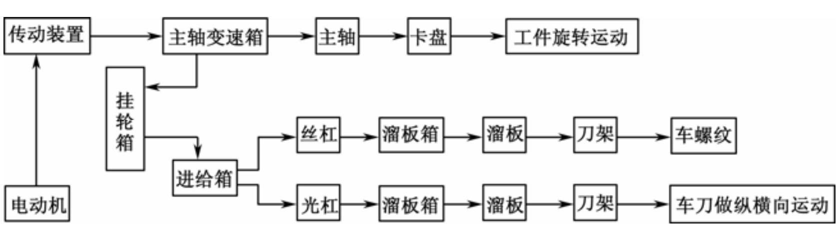


图 4.2　普通车床传动系统方框图

4.1.2　C620—1 型普通车床的电气控制

如图 4.3 所示为 C620─1 型普通车床的电气控制原理图。

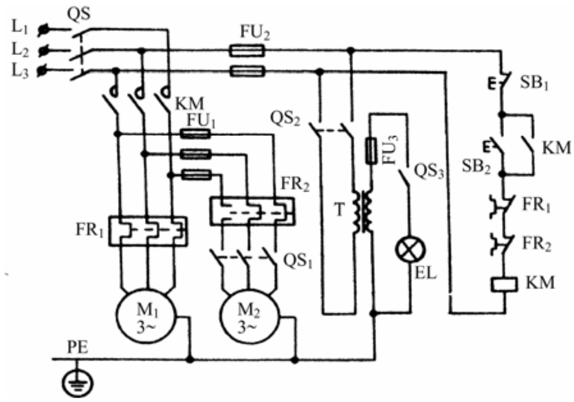


图 4.3　C620-1 型普通车床电气控制原理图

1. 电气控制原理图的构成及作用

电气控制原理图可分成主电路、控制电路及照明电路三部分。主电路中 M_1 为主轴电动机，拖动主轴旋转，并通过进给机构实现车床的进给运动。M_2 为冷却泵电动机，拖动冷却泵供出冷却液。它需经过转换开关 QS_1，在 M_1 启动后才可以启动，具有顺序联锁关系。电动机 M_1，M_2 都为单方向旋转，由于它们容量都小于 10kW，可采用全压启动。而主轴的正、反转则由磨擦离合器改变传动链来实现。热继电器 FR_1，FR_2 实现电动机 M_1，M_2 的长期过载保护。熔断器 FU_1～FU_3 实现冷却泵电动机、控制电路及照明电路的短路保护。控制电路中接触器 KM 控制电动机 M_1，M_2，具有欠压和零压保护作用。照明电路由照明变压器 T 供给 36V 安全电压，经照明开关 QS_2 和灯座开关 QS_3 控制照明灯 EL。

2. 电气原理图的工作过程

合上电源开关 QS，按下启动按钮 SB_2，接触器 KM 的线圈通电，使接触器 KM 的铁心吸合，主电路上 KM 的三对主触点闭合，主轴电动机 M_1 启动运转。同时，接触器 KM 的一个辅助常开触点闭合，完成自锁，保证主轴电动机 M_1 在松开启动按钮后能继续运转。电动机 M_2 经转换开关 QS_1 控制，确保 M_2 与 M_1 之间的顺序联锁关系。按下停止按钮 SB_1，接触器 KM 因线圈断电而释放，主电路中的三对主触点断开，主轴电动机 M_1 以及冷却泵电动机 M_2 便停止。

3. 常见故障分析

（1）主轴电动机不能启动。

① 配电箱或总开关中的熔断丝已熔断。

② 热继电器已动作过，其常闭触点尚未复位，这时应检查热继电器动作的原因。可能的原因有：长期过载；热继电器的规格选配不当；热继电器的整定电流太小。消除了产生故障的因素，再将热继电器复位，电动机就可以启动了。

③ 电源开关接通后，按下启动按钮，接触器没有吸合。这种故障常发生在控制电路中，可能是：控制电路 FU_2 熔丝熔断；启动按钮或停止按钮内的触点接触不良；交流接触器 KM 的线圈烧毁或触点接触不良等。确定并排除故障后重新启动。

④ 电动机损坏，修复或更换电动机。

（2）按下启动按钮，电动机发出嗡嗡声，不能启动。这是因为电动机的三相电源线断了一相造成的。可能的原因有：熔断器有一相熔丝烧断、接触器有一对主触点没有接触好、电动机接线有一处断线等。一旦发生此类故障，应立即切断电源，否则会烧坏电动机。排除故障后再重新启动，直到正常工作为止。

（3）主轴电动机启动后不能自锁。按下启动按钮，电动机能启动；松开按钮，电动机就自行停止。故障的原因是接触器 KM 自锁用的辅助常开触点接触不好或接线松开。排除故障后，该电动机就可以启动后连续运转了。

（4）按下停止按钮，主轴电动机不会停止。出现此类故障的原因主要有两方面：一是接触器主触点熔焊、主触点被杂物卡住或有剩磁，使它不能复位。检修时应先断开电源，再修复或更换接触器。另一方面是停止按钮常闭触点被卡住，不能断开，应更换停止按钮。

（5）冷却泵电动机不能启动。出现此类情况可能有以下几方面原因：主轴电动机未启动，熔断器 FU_1 熔丝已烧断；转换开关 QS_1 已损坏或者冷却泵电动机已损坏。应及时做相应检查，排除故障直到正常工作。

（6）照明灯不亮。这类故障的原因可能有：照明灯泡已坏；照明开关 QS_3 已损坏；熔断器 FU_3 的熔丝已烧断；变压器原绕组或副绕组已烧毁。应根据具体情况逐项检查，直到故障排除。

4.1.3 C650—2 型普通车床的电气控制

如图 4.4 所示为 C650—2 型普通车床电气控制原理图。

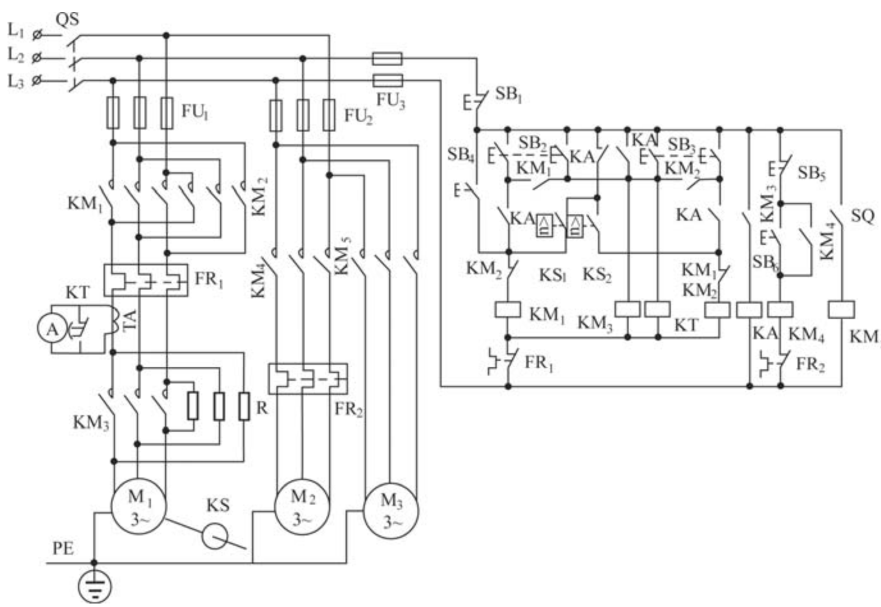


图 4.4 C650—2 型普通车床电气控制原理图

1. 电气原理图组成及作用

C650—2 型车床是一种中型车床，除有主轴电动机 M_1 和冷却泵电动机 M_2 外，还设置了刀架快速移动电动机 M_3。由电气控制原理图可知，接触器 KM_1，KM_2 控制主轴电动机

正、反转；KM_3 为反接制动接触器，R 为反接制动和低速运转控制电阻；接触器 KM_4，KM_5 分别控制冷却泵电动机 M_2 和快速移动电动机 M_3 的正常运转；KS 为速度继电器，用其相应的接点分别控制正、反转运行的反接制动，实现迅速停车。

2. 电气控制原理图分析

根据 C650—2 型车床的工作特点，从以下几个方面对其控制原理进行分析。

（1）主轴的正、反转控制。按下 SB_2 或 SB_3（SB_2，SB_3 分别为两地操作按钮），则 KM_1 或 KM_2 线圈得电，主触点 KM_1 或 KM_2 动作，辅助触点 KM_1 或 KM_2 完成自锁。同时 KM_3 线圈得电，其主触点将电阻 R 短接，电动机 M_1 实现全压下的正转或反转启动。启动结束后进入正常运行状态。

（2）主轴的点动控制。SB_4 为点动按钮。按下 SB_4 则 KM_1 线圈得电，主触点 KM_1 闭合。此时 M_1 主电路串入电阻 R 实现降压启动与运行，获得低速运转，实现对刀操作。

（3）主轴电动机反接制动停车控制。主轴停车时，按下停止按钮 SB_1，KM_1 或 KM_2 及 KM_3 线圈失电，其相关接点复位，而电动机 M_1 由于惯性继续运行，速度继电器的接点 KS_2 或 KS_1 仍闭合。按钮 SB_1 复位时则 KM_2 或 KM_1 线圈得电，相应的主触点闭合，M_1 主电路串入电阻 R 进行反接制动。当转速低于 KS 的设定值时 KS_2 或 KS_1 复位，KM_2 或 KM_1 线圈断电，其相应的主触点复位，电动机 M_1 断电，制动过程结束。

（4）刀架快速移动控制。刀架快速移动由刀架快速移动电动机 M_3 拖动。当刀架快速移动手柄压合行程开关 SQ 时，使接触器 KM_5 线圈通电，主触点 KM_5 闭合，电动机 M_3 直接启动。当刀架快速移动手柄移开，不再压合 SQ 时，KM_5 线圈断电，主触点复位，M_3 停止运转，刀架快速移动结束。

（5）冷却泵电动机控制。冷却泵电动机 M_2 通过启动按钮 SB_6、停止按钮 SB_5 及接触器 KM_4 组成的电动机单方向运转电路，实现起停控制。

（6）主轴电动机负载检测及保护环节。C650—2 型车床采用电流表 A 经电流互感器 TA 来检测 M_1 定子电流，监视主轴电动机负载情况。为防止电机启动时电流的冲击，时间继电器 KT 的常闭通电延时断开触点并接在电流表两端。当 M_1 启动时，电流表由 KT 触点短接，启动完成后 KT 触点断开，再将电流表接入。因此 KT 延时应稍长于 M_1 的启动时间，一般为 0.5s～1s 左右。而当 M_1 停车反接制动时，按下 SB_1，此时 KM_3，KA，KT 相继断电，KT 触点瞬时闭合，将电流表 A 短接，使之不会受到反接制动电流的冲击。

3. 常见故障分析

对于 C650—2 型车床在应用中出现的故障，除了和 C650—1 型车床有部分相同之外，根据其自身的特点，常常还出现如下的一些故障。

（1）主轴不能点动控制。主要检查点动按钮 SB_4。检查其动合触点是否损坏或接线是否脱落。

（2）刀架不能快速移动。故障的原因可能是行程开关损坏或接触器主触点被杂物卡住、接线脱落，或者快速移动电动机损坏。出现这些故障应及时检查，逐项排除，直到正常工作为止。

（3）主轴电动机不能进行反接制动控制。主要原因是速度继电器损坏或接线脱落、接线错误或者是电阻 R 损坏、接线脱落。

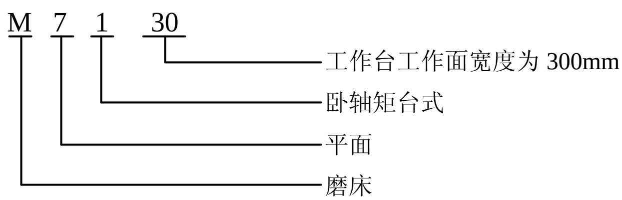
（4）不能检测主轴电动机负载。首先检查电流表是否损坏，如损坏应先检查电流表损坏的原因；其次可能是时间继电器设定的时间较短或损坏、接线脱落，或者电流互感器损坏。

4.2 磨床的电气控制

磨床是用砂轮的端面或周边对工件的表面进行磨削加工的精密机床。通过磨削，使工件表面的形状、精度和光洁度等达到预期的要求。磨床的种类很多，按其工作性质可分为平面磨床、外圆磨床、内圆磨床、工具磨床，以及一些专用磨床，如螺纹磨床、齿轮磨床、球面磨床、花键磨床、导轨磨床与无心磨床等，其中尤以平面磨床应用最为广泛。平面磨床根据工作台的形状和砂轮轴与工作台的关系又可分为卧轴矩台平面磨床、立轴矩台平面磨床、卧轴圆台平面磨床、立轴圆台平面磨床等。本节以 M7130 型卧轴矩台平面磨床为例进行分析。

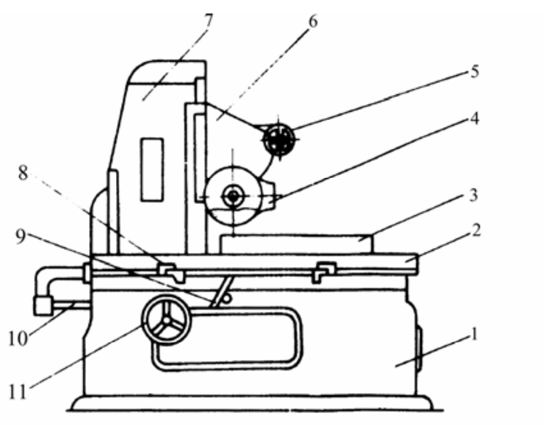
4.2.1 平面磨床的主要结构及运动形式

1. 型号含义



2. 主要结构及运动形式

M7130 型平面磨床是卧轴矩形工作台式，主要由床身、工作台、电磁吸盘、砂轮箱（又称磨头）、滑座和立柱等部分组成，如图 4.5 所示。



1—床身；2—工作台；3—电磁吸盘；4—砂轮箱；
5—砂轮箱横向移动手轮；6—滑座；7—立柱；8—工作台换向撞块；
9—工作台往返运动换向手柄；10—活塞杆；11—砂轮箱垂直进刀手轮

图 4.5 卧轴矩台平面磨床外形图

如图 4.5 所示，在箱形床身 1 中装有液压传动装置，工作台 2 通过活塞杆 10 由油压推动做往复运动，床身导轨有自动润滑装置进行润滑。工作台表面有 T 形槽，用以固定电磁吸盘，再由电磁吸盘来吸持加工工件。工作台的行程长度可通过调节装在工作台正面槽中的撞块 8 的位置来改变。换向撞块 8 是通过碰撞工作台往复运动换向手柄以改变油路来实现工作台往复运动的。

在床身上固定有立柱 7，沿立柱 7 的导轨上装有滑座 6，砂轮箱 4 能沿其水平导轨移动。砂轮轴由装入式电动机直接拖动。在滑座内部往往也装有液压传动机构。

滑座可在立柱导轨上作上下移动，并可由垂直进刀手轮 11 操作。砂轮箱的水平轴向移动可由横向移动手轮 5 操作，也可由液压传动做连续或间接移动，前者用于调节运动或修整砂轮，后者用于进给。

矩形工作台平面磨床工作图如图 4.6 所示。砂轮的旋转运动是主运动。进给运动有垂直进给，即滑座在立柱上的上下运动；横向进给，即砂轮箱在滑座上的水平运动；纵向进给，即工作台沿床身的往复运动。工作台每完成一次往复运动时，砂轮箱做一次间断性的横向进给；当加工完整个平面后，砂轮箱做一次间断性的垂直进给。辅助运动有工作台及砂轮架的快速移动等。

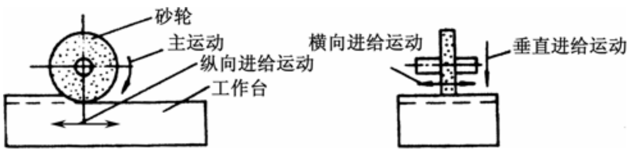


图 4.6　矩形工作台平面磨床工作图

4.2.2　M7130 平面磨床的电气控制

如图 4.7 所示为 M7130 平面磨床的电气控制原理图。

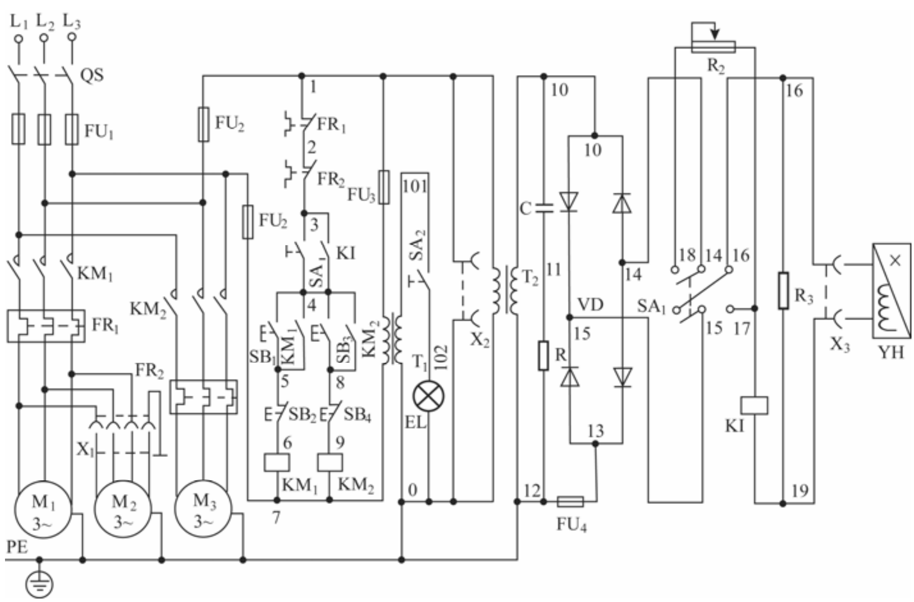


图 4.7　M7130 平面磨床的电气控制原理图

1. 电气控制原理图的组成及作用

如图 4.7 所示，可将电气控制原理图分为四个部分，即主电路、电动机控制电路、照明电路和电磁吸盘控制电路。主电路中 M_1 为砂轮电动机，M_2 为冷却泵电动机，M_3 为液压泵电动机；三台电动机共用熔断器 FU_1 做短路保护，M_1，M_2 和 M_3 分别由热继电器 FR_1，FR_2 做长期过载保护。控制电路中接触器 KM_1 控制电动机 M_1，M_2，再经插销 X_1 供电给 M_2，接触器 KM_2 控制电动机 M_3；启动按钮分别为 SB_1，SB_3，停止按钮分别为 SB_2，SB_4。照明电路通过变压器 T_1 及开关 SA_2 来控制照明电灯的亮灭；熔断器 FU_3 为照明电路的短路保护。电磁吸盘控制电路经变压器 T_2 将交流 220V 电压降为 127V，经桥式整流装置后变为 110V 的直流电压，再经转换开关 SA_1 的选择（充磁、退磁、放松）以及插销 X_3 供给电磁吸盘的线圈。变压器 T_2 两侧的并联支路 RC 实现整流装置的过电压保护，电流继电器 KI 做欠电流保护，电阻 R_3 形成电磁吸盘线圈的放电回路。

电磁吸盘与机械夹紧装置相比，具有夹紧迅速、操作快捷、不损伤工件等优点，可同时吸持多个小工件进行磨削加工；在加工过程中，工件发热可自由伸展，不易变形。但它只能对导磁性材料（如钢铁）的工件才能吸持，而对非导磁性材料（如铜铝）的工件则不能吸持。电磁吸盘的结构原理如图 4.8 所示。

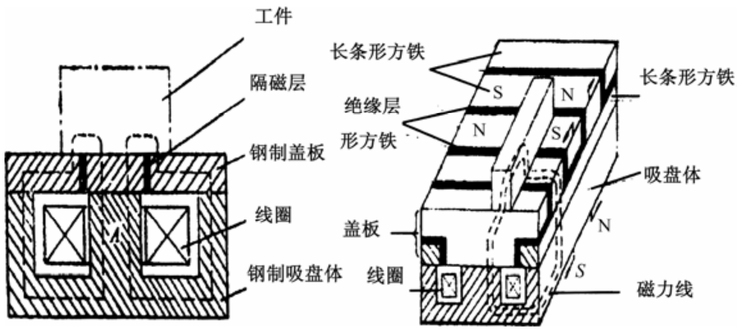


图 4.8　电磁吸盘的结构原理

整个吸盘是钢制的箱体，内部凸起的芯体上绕有线圈。钢制的盖板由非磁性材料分成许多条。线圈通电时许多钢条被磁化为多个 N 极和 S 极相间的磁极。当工件放在电磁吸盘上时，磁力线形成闭合磁路而将工件牢牢吸住。

2. 电气控制原理图分析

如图 4.7 所示，电磁吸盘不工作时，转换开关 SA_1 置于“去磁位置”，即 14-16，15-17 接点接通，触点 SA_1（3-4）闭合；可以启动主轴电动机，可对工作台做适当的调整，或对工件进行去磁操作。

正常加工时，合上电源开关 QS，SA_1 置于“充磁位置”，即 14-18，15-16 接点接通，KA 线圈得电，KA（3-4）接点闭合；按下 SB_1，KM_1 线圈得电，主触点 KM_1 闭合，电动机 M_1，M_2 通电运转，辅助触点 KM_1（4-5）完成自锁；按下 SB_3，KM_2 线圈得电，主触点 KM_2 闭合，电动机 M_3 通电运转；辅助触点 KM_2（4-8）完成自锁；对吸持在吸盘上的工件按照设定的参数进行加工。按下 SB_2，SB_4，电动机 M_1，M_2，M_3 依次断电，再将吸盘上的工件去磁后便可取下。

3. 常见故障分析

（1）磨床中各电动机不能启动。首先检查 3-4 之间的欠电流继电器 KA 的触点以及转换开关 SA_1 的触点是否接触不良、接线松动脱落或有油垢；再检查热继电器 FR_1，FR_2 是否动作过，以及 SB_1，SB_2，SB_3，SB_4 常开、常闭接点是否正常。逐项排除后直到正常工作为止。

（2）砂轮电动机的热继电器 FR_1 脱扣。出现故障的原因可能有：砂轮电动机前轴瓦磨损，电动机发生堵转而电流增大很多；砂轮进刀量太大，使电动机堵转，电流很大；更换后的热继电器 FR_1 规格不符合要求或未调整好。检修时应根据具体情况进行处理，直到排除故障为止。

（3）冷却泵电动机不能启动。可能的原因是冷却泵电动机的插座或电动机已损坏，应及时修复或更换。

（4）液压泵电动机不能启动。可能的原因有：按钮 SB_3 或 SB_4 的触点接触不良或接线脱落；接触器 KM_2 的线圈损坏或接线脱落；液压泵电动机损坏；应根据具体情况及时修复或更换。

（5）电磁吸盘没有吸力。首先检查三相交流电源是否正常，熔断器 FU_1，FU_2，FU_4 是否完好，接触是否正常，插销 X_3 接触是否良好；再检查变压器 T_2 及整流装置有无输出。如上述检查均未发现故障，则进一步检查电磁吸盘线圈、KA 线圈是否断开，以及接线是否正常等。

（6）电磁吸力不足。常见的原因有交流电源电压低，导致直流电压相应下降，以致吸力不足。若直流电压正常，则可能插销 X_3 接触不良，也可能电磁吸盘线圈内部存在短路。另外的原因是桥式整流电路的故障。如整流桥有一桥臂发生开路，将使直流输出电压下降一半左右，使吸力减小。

（7）电磁吸盘退磁效果差，造成工件难以取下。出现故障的原因可能有：退磁电压过高；退磁电路开路，没有退磁；退磁的时间过长或过短。根据具体情况作适当的处理，直到正常工作。

4.3　摇臂钻床的电气控制

钻床是一种孔加工的机床。可用来钻孔、扩孔、铰孔、镗孔、攻丝及修刮端面等多种形式的加工。

钻床按用途和结构可分为立式钻床、台式钻床、多轴钻床、摇臂钻床及其他专用钻床等。在各类钻床中，摇臂钻床操作方便、灵活，运用范围广，具有典型性，特别适用于单件或批量生产中带有多孔的大型零件的孔加工，是一般机械加工车间常见的机床。立钻和台钻应用也较为广泛，但其控制电路比较简单。因此本节主要以 Z35 和 Z3040 摇臂钻床为重点进行分析。

4.3.1 摇臂钻床的主要结构及运动形式

1. 型号含义

Z 3 5
- 5：最大钻孔直径为 50mm
- 3：摇臂
- Z：钻床

Z 30 40
- 40：最大钻孔直径为 400mm
- 30：摇臂钻床
- Z：钻床

2. 主要结构及运动形式

摇臂钻床主要由底座、内立柱、外立柱、摇臂、主轴箱及工作台等部分组成，如图 4.9 所示。内立柱固定在底座的一端，在它外面套有外立柱，外立柱可绕内立柱回转 360°。摇臂的一端为套筒，它套装在外立柱上，并借助丝杠的正反转可沿外立柱作上下移动；由于该丝杠与外立柱连成一体，且升降螺母固定在摇臂上，所以摇臂不能绕外立柱转动，只能与外立柱一起绕内立柱回转。主轴箱是一个复合部件，它由主传动电动机、主轴和主轴传动机构、进给和变速机构以及机床的操作机构等部分组成，主轴箱安装在摇臂的水平导轨上，可通过手轮操作使其在水平导轨上沿摇臂移动。当进行加工时，由特殊的夹紧装置将主轴箱紧固在摇臂导轨上，外立柱紧固在内立柱上，摇臂紧固在外立柱上，然后进行钻削加工。钻削加工时，钻头一面进行旋转切削，一面进行纵向进给。

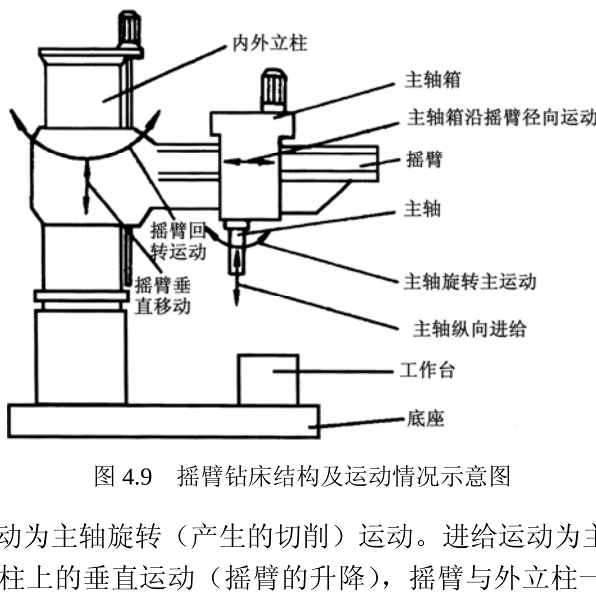


图 4.9 摇臂钻床结构及运动情况示意图

摇臂钻床的主运动为主轴旋转（产生的切削）运动。进给运动为主轴的纵向进给。辅助运动包括摇臂在外立柱上的垂直运动（摇臂的升降），摇臂与外立柱一起绕内立柱的旋转运动及主轴箱沿摇臂长度方向的运动。对于摇臂在立柱上的升降，Z35 摇臂钻床摇臂的松开与

夹紧是依靠机械机构自动进行，而 Z3040 摇臂钻床摇臂的松开与夹紧则是依靠液压推动松紧机构自动进行的。

4.3.2　Z35 摇臂钻床的电气控制

如图 4.10 所示为 Z35 摇臂钻床电气控制原理图。

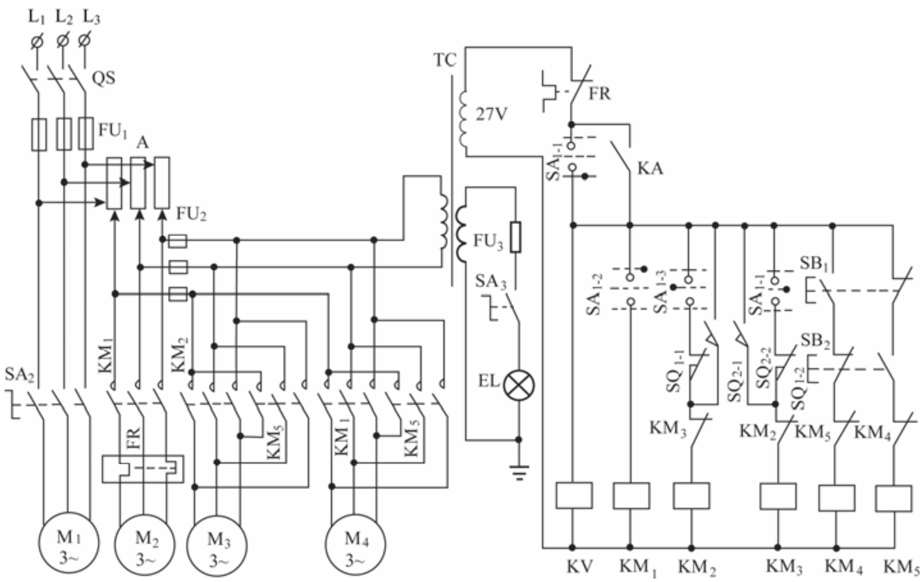


图 4.10　Z35 摇臂钻床电气控制原理图

1. 电气控制原理图组成及作用

电气控制原理图可分成三个部分，即主电路、控制电路和照明电路。主电路中共有四台电机，M_1 为冷却泵电动机，给加工工件提供冷却液，由转换开关 SA_2 直接控制。M_2 为主轴电动机，FR 做过载保护。M_3 为摇臂升降电动机，可进行正反转。M_4 为立柱放松与夹紧电动机，也可进行正反转。电动机 M_3 和 M_4 都是短时运行的，所以不加过载保护。M_3，M_4 共用熔断器 FU_2 做短路保护。因为外立柱和摇臂要绕内立柱回转，所以除了冷却泵电动机以外，其他的电源都通过汇流排 A 引入。

电动机控制电路的电源由变压器 T 将 380V 的交流电源降为 127V 后供给；SA_1 为十字开关，由十字手柄和四个微动开关组成；十字手柄共有五个位置，即上、下、左、右和中，各个位置的工作情况如表 4.1 所示。KV 为失压继电器，当电源合上时，必须将十字开关向左扳合一次，此时 $SA_{1\text{-}1}$ 触点接通，失压继电器 KV 线圈通电并自锁。若机床工作时，十字手柄不在左边位置，机床断电后，KV 释放；恢复电源后机床不能自行启动。接触器 KM_1 控制主轴电动机 M_2 的起停，接触器 KM_2，KM_3 控制摇臂升降电动机的正反转，同拔叉位置相关联的转动组合开关 SQ_2，限位开关 SQ_1 共同控制摇臂的升降。接触器 KM_4，KM_5 控制立柱松开与夹紧电动机 M_4。

照明电路的电源也是由变压器 T 将 380V 交流电压降为 36V 安全照明电源，照明灯一端接地，直接由开关 SA_3 控制。

表 4.1　十字开关的工作情况

手柄位置	实物位置	微动开关的接通触点	工作状态
中		都不通	停止
左		$SA_{1\text{-}1}$	失压保护
右		$SA_{1\text{-}2}$	主轴运转
上		$SA_{1\text{-}3}$	摇臂上升
下		$SA_{1\text{-}4}$	摇臂下降

2. 电气控制原理图分析

合上电源开关 QS，将十字开关向左扳合，此时 $SA_{1\text{-}1}$ 触点接通，失压继电器 KA 线圈通电并自锁。启动主轴电动机，将十字开关向右扳合，触点 $SA_{1\text{-}2}$ 接通，接触器 KM_1 线圈通电，主触点 KM_1 闭合，主轴电动机 M_2 直接启动后运转。主轴的正反转由主轴箱上的摩擦离合器手柄操作。摇臂钻床的钻头旋转和上下移动都由主轴电动机拖动。将十字开关扳回中间位置，触点 $SA_{1\text{-}2}$ 断开，主轴电动机 M_2 停止。

若加工过程中钻头与工件之间的相对高度不适合时，可通过摇臂的升降来进行调整。欲使摇臂上升，应将十字开关向上扳合，触点 $SA_{1\text{-}3}$ 闭合，接触器 KM_2 线圈通电，主触点 KM_2 接通，电动机 M_3 正转，带动升降丝杆正转。摇臂升降的放松与夹紧机构如图 4.11 所示。升降丝杆开始正转时，因升降螺母也跟着旋转，所以摇臂不会上升。下面的辅助螺母因不能旋转而向上移动，通过拔叉使传动松紧装置的轴逆时针方向旋转，松紧装置将摇臂松开。在辅助螺母向上移动时，带动传动条向上移动。当传动条压上升降螺母后，升降螺母就不能再转动了，而只能带动摇臂上升。在辅助螺母上升而转动拔叉时，拔叉又转动组合开关 SQ_2 的轴，使触点 $SQ_{2\text{-}2}$ 闭合，为夹紧做准备。此时 KM_2 的常闭接点是断开的，接触器 KM_3 的线圈不能得电吸合。

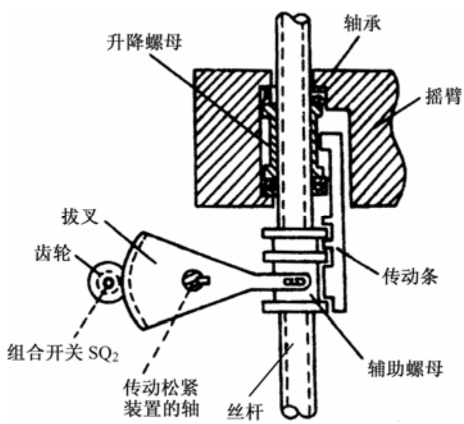


图 4.11　摇臂升降的放松与夹紧机构示意图

当摇臂上升到所需要的位置时，将十字开关扳回到中间位置，触点 $SA_{1\text{-}3}$ 断开，接触器 KM_2 线圈断电释放，主触点 KM_2 断开，电动机 M_3 停止正转；KM_2 常闭接点闭合，又因触点 $SQ_{2\text{-}2}$ 已闭合，接触器 KM_3 线圈通电吸合，主触点 KM_3 闭合，电动机 M_3 反转带动升降丝杆反转，使辅助螺母向下移动，一方面带动传动条下移而与升降螺母脱离接触，升降螺母又

随丝杆空转，摇臂停止上升；另一方面辅助螺母下移时，通过拔叉使传动松紧装置的轴顺时针方向转动，松紧装置将摇臂夹紧；同时，拔叉通过齿轮转动组合开关 SQ_2 的轴，使摇臂夹紧时触点 SQ_{2-2} 断开，接触器 KM_3 线圈断电释放，主触点 KM_3 断开，电动机 M_3 停止。

如果要使摇臂下降，应将十字开关向下扳合，触点 SA_{1-4} 接通，接触器 KM_3 线圈通电吸合，主触点 KM_3 闭合，电动机 M_3 反转，带动升降丝杆反转。开始时，升降螺母跟着旋转，摇臂不会下降，仅下面的辅助螺母向下移动，通过拔叉使传动松紧装置的轴顺时针方向转动，使得松紧装置先将摇臂松开；同时辅助螺母向下移动时，带动传动条也向下移动。当传动条压上升降螺母后，带动摇臂下降，升降螺母不再转动。辅助螺母的下降转动拔叉时，拔叉又转动组合开关 SQ_2 的轴，使触点 SQ_{2-1} 闭合，为夹紧做准备。此时 KM_3 的常闭接点是断开的，接触器 KM_2 的线圈不能得电吸合。当摇臂下降到所需要的位置时，将十字开关扳回到中间位置，触点 SA_{1-4} 断开，接触器线圈 KM_3 断电释放，主触点 KM_3 断开，电动机 M_3 停止反转；KM_3 辅助常闭触点闭合，且触点 SQ_{2-1} 已闭合，接触器 KM_2 线圈通电吸合，主触点 KM_2 闭合，电动机 M_3 正转带动升降丝杆正转，使辅助螺母向上移动，带动传动条上移而与升降螺母脱离接触，升降螺母又随丝杆空转，摇臂停止下降；辅助螺母上移时，通过拔叉使传动松紧装置的轴逆时针方向旋转，松紧装置将摇臂夹紧；同时，拔叉通过齿轮转动组合开关 SQ_2 的轴，使摇臂夹紧时触点 SQ_{2-1} 断开，接触器 KM_2 线圈断电释放，主触点 KM_2 断开，电动机 M_3 停止。

限位开关 SQ_1 是用来限制摇臂升降极限位置的。当摇臂上升（此时，接触器 KM_2 线圈通电吸合，电动机 M_3 正转）到极限位置，挡块碰到 SQ_1，使触点 SQ_{1-1} 断开，接触器 KM_2 线圈断电释放，电动机 M_3 停转，摇臂停止上升。当摇臂下降（此时，接触器 KM_3 线圈通电吸合，电动机 M_3 反转）到极限位置，挡块碰到 SQ_1，使触点 SQ_{1-2} 断开，接触器 KM_3 线圈断电释放，电动机 M_3 停转，摇臂停止下降。

Z35 摇臂钻床的摇臂升降运动不允许与主轴旋转运动同时进行，称之为不同运动间的联锁。完成这一任务是由十字开关操作手柄的几个位置实现的，每一个位置带动相应的微动开关动作，接通一个运动方向的电路。

当摇臂需要旋转时，必须连同外立柱一起绕内立柱运转。这个过程必须经过立柱的松开和夹紧，而立柱的松开和夹紧是靠电动机 M_4 的正反转带动液压装置来完成的。当需要松开立柱时，可按下 SB_1 按钮，接触器 KM_4 线圈通电吸合，主触点 KM_4 接通，电动机 M_4 正转，通过齿式离合器，M_4 带动齿轮式油泵旋转，从一定方向送出高压油，经一定的油路系统和传动机构将外立柱松开。松开后可放开 SB_1 按钮，KM_4 线圈断电，主触点复位，电动机 M_4 停转；即可用人力推动摇臂连同外立柱一起绕内立柱转动，当转到所需位置时，可按下 SB_2 按钮，接触器 KM_5 线圈通电吸合，主触点 KM_5 接通，电动机 M_4 反转，通过齿式离合器，M_4 带动齿轮式油泵反向旋转，从另一方向送出高压油，在液压推动下将立柱夹紧。夹紧后可放开 SB_2 按钮，KM_5 线圈断电释放，主触点复位，电动机 M_4 停转。

Z35 摇臂钻床的主轴箱在摇臂上的松开与夹紧和立柱的松开与夹紧由同一台电动机（M_4）和同一液压传动机构同时进行。

3. 常见故障分析

（1）主轴电动机不能启动。故障的主要原因有：十字开关的触点 SA_{1-2} 损坏或接触不良；接触器 KM_1 的主触点接触不良或接线脱落；失压继电器 KA 的触点接触不良或接线脱

落；熔断器 FU_1 的熔断丝烧断；这些情况都可能引起主轴电动机不能启动，应逐项检查排除。

（2）主轴电动机不能停止。主要是由于接触器 KM_1 的主触点熔焊造成，断开电源后更换接触器 KM_1 的主触点即可。

（3）摇臂升降后不能完全夹紧。主要与摇臂夹紧的组合开关 SQ_2 有关。可能是组合开关 SQ_2 动触点的位置发生偏移，或者转动组合开关 SQ_2 的齿轮与拔叉上的扇形齿轮的啮合位置发生了偏移，当摇臂未能夹紧时，触点 $SQ_{2\text{-}1}$（摇臂下降）或触点 $SQ_{2\text{-}2}$（摇臂上升）就过早地断开了，未到夹紧位置电动机 M_3 就停转了。

（4）摇臂升降方向与十字开关标志的扳动方向相反。该故障的原因是升降电动机的电源相序接反了，发生这一故障是很危险的，应立即断开电源开关，及时调整好升降电动机的电源相序。

（5）摇臂升降不能停止。这是因为检修时误将转换开关 SQ_2 的两对触点的接线互换了。以十字开关扳到上升位置为例，接触器 KM_2 通电吸合，电动机 M_3 通电正转，摇臂先松开后上升，松开后应是触点 $SQ_{2\text{-}2}$ 闭合，为夹紧做准备，接线接错后变为 $SQ_{2\text{-}1}$ 闭合，往后将十字开关扳回中间位置以及终端限位开关触点 $SQ_{1\text{-}1}$ 断开也不会停止上升。

（6）立柱松紧电动机不能启动。发生故障的原因可能有：按钮 SB_1，SB_2 的触点接触不良或接线脱落；接触器 KM_4，KM_5 的主触点接触不良或接线脱落；熔断器 FU_2 的熔丝烧断；应根据具体情况逐项排除，直到正常工作。

（7）立柱松紧电动机不能停止。主要原因是接触器 KM_4，KM_5 的主触点熔焊，应立即断开电源，更换接触器主触点。

4.3.3　Z3040 摇臂钻床的电气控制

如图 4.12 所示为 Z3040 摇臂钻床的电气控制原理图。

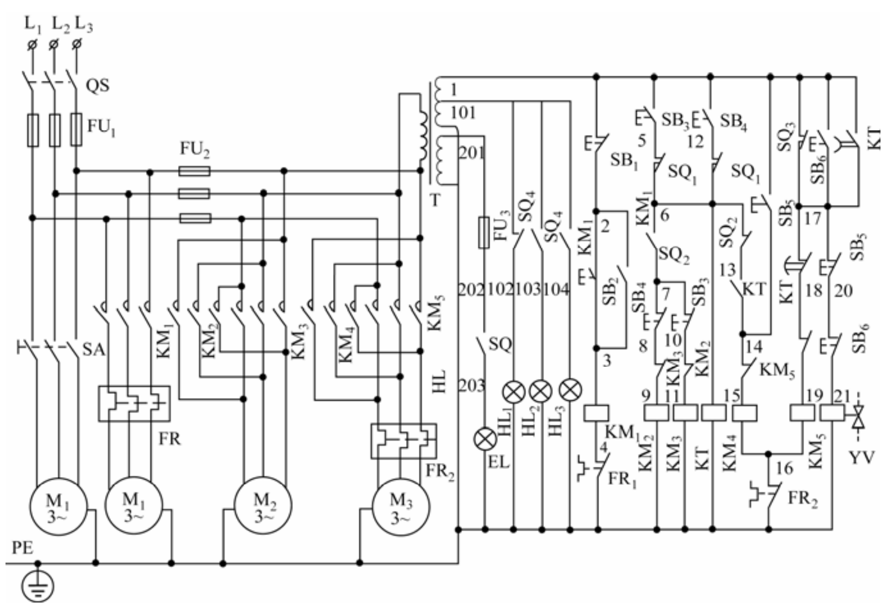


图 4.12　Z3040 摇臂钻床的电气控制原理图

1. 电气控制原理图组成及作用

如图 4.12 所示，电气控制原理图可分为三个部分，即主电路、照明及指示灯电路、电动机控制电路。主电路中有四台电动机，M_1 为主轴电动机，为单方向旋转，主轴的正反转则由机床液压系统操纵机构配合正反转摩擦离合器实现；热继电器 FR_1 做电动机的长期过载保护。M_2 为摇臂升降电动机,可实现正反转；M_2 为短时工作，不用设长期过载保护。M_3 为液压泵电动机，可实现正反转；热继电器 FR_2 做长期过载保护。M_4 为冷却泵电动机，容量小，仅为 0.125kW，由开关 SA 直接控制。

照明电路的电源由变压器 T 降压后供给，由开关 SQ 直接控制照明灯 EL，并由熔断器 FU_3 做短路保护。HL_1 为立柱和主轴箱松开的指示灯，HL_2 为立柱和主轴箱夹紧的指示灯，HL_3 为正常旋转的指示灯。SQ_4 为与立柱和主轴箱松开、夹紧相关联的行程开关。

控制电路中接触器 KM_1 控制主轴电动机的运转，接触器 KM_2，KM_3 控制摇臂升降电动机 M_2 的正反转，接触器 KM_4，KM_5 控制液压泵电动机的正反转，电磁阀 YV 用来控制主轴箱和立柱的夹紧放松油路，以及摇臂的夹紧松开、摇臂的升降构成的自由循环油路。SQ_1 为摇臂升降的极限保护组合开关，SQ_2 为摇臂松开并发出松开信号的限位开关，SQ_3 为摇臂夹紧信号开关。时间继电器 KT 保证夹紧动作在摇臂升降电动机停止运转后进行；KT 延时的长短根据摇臂升降电动机切断电源到停止的惯性大小来进行调整。

2. 电气控制原理图分析

合上电源开关 QS，按下主轴电动机 M_1 的启动按钮 SB_2，接触器 KM_1 线圈通电吸合，主触点 KM_1 闭合，M_1 启动运转，指示灯 HL_3 亮。此时可进行钻削加工。若在加工的过程中，钻头和工件之间的位置需要调整，可通过摇臂的升降来实现。

若使摇臂上升，按下上升点动按钮 SB_3，时间继电器 KT 线圈通电，触点 KT（1-17）、KT（13-14）立即闭合，使电磁阀 YV 和 KM_4 线圈同时通电，液压泵电动机 M_3 启动正转，拖动液压泵送出压力油，并经二位六通阀进入松开油腔，推动活塞和菱形块，将摇臂松开。同时，活塞杆通过弹簧片压上行程开关 SQ_2，发出松臂信号，即触点 SQ_2（6-7）闭合，SQ_2（6-13）断开，使 KM_2 通电，KM_4 断电，于是电动机 M_3 停止旋转，油泵停止供油，摇臂维持松开状态。同时 M_2 启动正转，带动摇臂上升。当摇臂上升到所需位置时，松开按钮 SB_3，KM_2 和 KT 线圈断电，电动机 M2 停止运转，摇臂停止上升。但由于触点 KT（17-18）经 1s～3s 延时闭合，触点 KT（1-17）经同样延时断开，所以 KT 线圈断电经过 1s～3s 后，KM_5 线圈通电，电磁阀 YV 断电。此时电动机 M_3 反向启动，拖动液压泵，供出压力油，并经二位六通阀进入摇臂夹紧油腔，向反方向推动活塞和菱形块，将摇臂夹紧。同时，活塞杆通过弹簧片压下行程开关 SQ_3，使触点 SQ_3（1-17）断开，使 KM_5 断电，液压泵电动机 M_3 停止运转，摇臂夹紧完成。

若使摇臂下降，按下点动按钮 SB_4，时间继电器 KT 线圈通电，触点 KT（1-17）、KT（13-14）立即闭合，使电磁阀 YV，KM_4 线圈同时通电，液压泵电动机 M_3 启动正转，拖动液压泵送出压力油，并经二位六通阀进入松开油腔，推动活塞和菱形块，将摇臂松开。同时，活塞杆通过弹簧片压上行程开关 SQ_2，发出松臂信号，即触点 SQ_2（6-7）闭合，SQ_2（6-13）断开，使 KM_3 通电，KM_4 断电。于是电动机 M_3 停止旋转，油泵停止供油，摇臂维持松开状态。同时 M_2 启动反转，带动摇臂下降。当摇臂下降到所需位置时，松开按钮 SB_4，KM_3 和 KT 线圈断电，电动机 M_2 停止运转，摇臂停止下降。但由于触点 KT（17-18）

经 1s～3s 延时闭合，触点 KT（1-17）经同样延时断开，所以 KT 线圈断电经过 1s～3s 后，KM_5 线圈通电，电磁阀 YV 断电。此时电动机 M_3 反向启动，拖动液压泵，供出压力油，并经二位六通阀进入摇臂夹紧油腔，向反方向推动活塞和菱形块，将摇臂夹紧。同时，活塞杆通过弹簧片压下行程开关 SQ_3，使触点 SQ_3（1-17）断开，使 KM_5 断电，液压泵电动机 M_3 停止运转，摇臂夹紧完成。

如果摇臂上升或下降到极限位置时，限位开关 SQ_1 的两对常闭接点应作相应的动作；以切断对应上升或下降的接触器 KM_2，KM_3 通电回路，使 M_2 停止运转，摇臂停止移动，实现极限位置的保护。

此外，主轴箱和立柱的夹紧与松开是同时进行的。按下松开按钮 SB_5，KM_4 线圈通电吸合，电动机 M_3 启动正转，拖动液压泵，送出压力油，压力油经二位六通阀，进入主轴箱松开油腔与立柱松开油腔，推动活塞和菱形块，使主轴箱和立柱松开。按下夹紧按钮 SB_6，KM_5 线圈通电吸合，电动机 M_3 启动反转，拖动液压泵，送出压力油，压力油经二位六通阀，进入主轴箱夹紧油腔与立柱夹紧油腔，推动活塞和菱形块，使主轴箱和立柱夹紧。主轴箱和立柱夹紧与松开的过程中，电磁阀 YV 处于断电状态；同时通过行程开关 SQ_4 控制指示灯发出信号，当主轴箱与立柱松开时，SQ_4 不受压，触点 SQ_4（101-102）闭合，HL_1 亮，表示确以松开，可移动主轴箱或立柱。当夹紧时，将压下 SQ_4，触点 SQ_4（101-102）断开，触点 SQ_4（101-103）闭合，HL_2 亮，可进行切削加工。通常机床安装后，接通电源，利用主轴箱和立柱的夹紧、松开来检查电源相序，电源相序确定后，再调整电动机 M_2 的接线。

3. 常见故障分析

（1）主轴电动机不能启动。故障的主要原因有：启动按钮 SB_2 或停止按钮 SB_1 损坏或接触不良；接触器 KM_1 线圈断线、接线脱落，及主触点接触不良或接线脱落；热继电器 FR_1 动作过；熔断器 FU_1 的熔断丝烧断；这些情况都可能引起主轴电动机不能启动，应逐项检查排除。

（2）主轴电动机不能停止。主要是由于接触器 KM_1 的主触点熔焊造成，断开电源后更换接触器 KM_1 的主触点即可。

（3）摇臂不能上升或下降。由摇臂上升或下降的电气动作过程可知，摇臂移动的前提是摇臂完全松开，此时活塞杆通过弹簧片压下行程开关 SQ_2，电动机 M_3 停止运转，电动机 M_2 启动运转，带动摇臂的上升或下降。若 SQ_2 的安装位置不当或发生偏移，这样摇臂虽然完全松开，但活塞杆仍压不上 SQ_2，致使摇臂不能移动；有时电动机 M_3 的电源相序接反，此时按下摇臂上升或下降按钮 SB_3，SB_4，电动机 M_3 反转，使摇臂夹紧，更压不上 SQ_2，摇臂也不会上升或下降。有时也会出现因液压系统发生故障，使摇臂没有完全松开，活塞杆压不上 SQ_2。如果 SQ_2 在摇臂松开后已动作，而摇臂不能上升或下降，则有可能由这些原因引起的：按钮 SB_3，SB_4 的常闭接点损坏或接线脱落；接触器 KM_2，KM_3 线圈损坏或接线脱落，KM_2，KM_3 的触点损坏或接线脱落；应根据具体情况逐项检查，直到故障排除。

（4）摇臂移动后夹不紧。主要原因是由于信号开关 SQ_3 安装位置不当或松动移位，过早地被活塞杆压上动作，使液压泵电动机 M_3 在摇臂尚未充分夹紧时就停止运转。

（5）液压泵电动机不能启动。主要原因可能有：熔断器 FU_2 熔丝已烧断；热继电器 FR_2 已动作过；接触器 KM_4 或 KM_5 的线圈损坏或接线脱落，及其主触点损坏或接线脱落；时间继电器 KT 的线圈损坏或接线脱落，及其相关的接点损坏或接线脱落。应逐项检查，直到故

障排除。

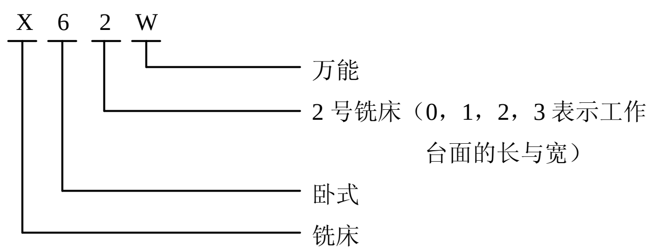
（6）液压系统不能正常工作。有时电气控制系统工作正常，而液压系统中的电磁阀芯卡住或油路堵塞，导致液压系统不能正常工作，也可能造成摇臂无法移动、主轴箱和立柱不能松开与夹紧。

4.4　铣床的电气控制

铣床可以用来加工各种形式的表面：平面、成形面、各种形式的沟槽，甚至还可以加工各种回转体，因此铣床在机械行业的机床设备中占有相当大的比重。铣床按结构形式和加工性能的不同，可分为升降台式铣床、无升降台式铣床、龙门铣床、仿形铣床和各种专用铣床。升降台式铣床又可分为卧式铣床、卧式万能铣床和立式铣床。常用的铣床有 X62W 型卧式万能铣床和 X53K 型立式万能铣床。其中，卧式的主轴是水平的，而立式的主轴是竖直的，它们的电气控制原理及运动情况类似。本节以 X62W 万能卧式铣床为例进行分析。

4.4.1　卧式万能铣床的主要结构及运动形式

1. 型号含义

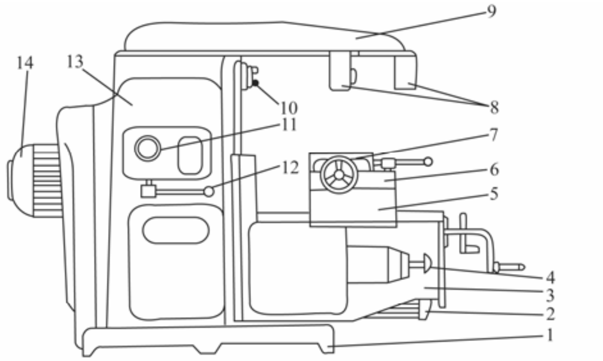


2. 主要结构及运动形式

如图 4.13 所示为 X62W 万能卧式铣床结构示意图，主要由底座、床身、主轴电动机、升降台、溜板、转动部分、工作台、悬梁及刀杆支架等部分组成。箱形的床身 13 固定在底座 1 上，在床身内装有主轴传动机构及主轴变速操作机构。顶部有水平导轨，导轨上带有一个或两个刀杆支架的悬梁。刀杆支架用来支承安装铣刀心轴的一端，而心轴的另一端则固定在主轴上。在床身的前方有垂直导轨，一端悬持的升降台可沿轨道上下移动。在升降台上面的水平导轨上，装有可平行于主轴轴线方向移动（横向移动）的溜板 5。工作台 7 可沿溜板上部转动部分 6 的导轨在垂直于主轴轴线的方向移动（纵向移动）。这样，安装在工作台上的工件，可以在三个方向调整位置或完成进给运动。此外，由于转动部分 6 对溜板 5 可绕垂直轴线转动一个角度（通常为±45°），这样，工作台于水平面上除能平行或垂直于主轴轴线方向进给外，还能在倾斜方向上进给，从而完成铣螺旋槽的加工。

铣床的主运动为主轴的旋转运动。主轴通过主轴变速箱可获得 18 种转速，调整范围为 50。进给运动为工作台在三个相互垂直方向上的直线运动（手动或机动）；三个方向的进给运动经进给变速箱后可获得 18 种不同转速，分别经过不同的传动路线传递给相应的丝杠后实现。为了使变速前后主轴传动机构、进给运动传动机构的齿与齿之间顺利啮合，要求主轴电动机、进给运动电动机在变速时能够点动。这种变速时电动机稍微转动一下，称为变速冲

动。辅助运动为工作台在三个相互垂直方向上的快速直线移动。



1—底座；2—进给电动机；3—升降台；4—进给变速手柄及变速盘；5— 溜板；6—转动部分；7—工作台；8—刀架支杆；9—悬梁；10—主轴；11—主轴变速盘；12—主轴变速手柄；13—床身；14—主轴电动机

图 4.13　X62W 万能卧式铣床结构示意图

4.4.2　X62W型卧式万能铣床的电气控制

1. 电气控制原理图组成及作用

如图 4.14 所示为 X62W 型卧式万能铣床的电气控制原理图，可分为主电路、主轴电动机控制电路、进给电动机控制电路及冷却泵电动机控制和照明电路等四个部分。

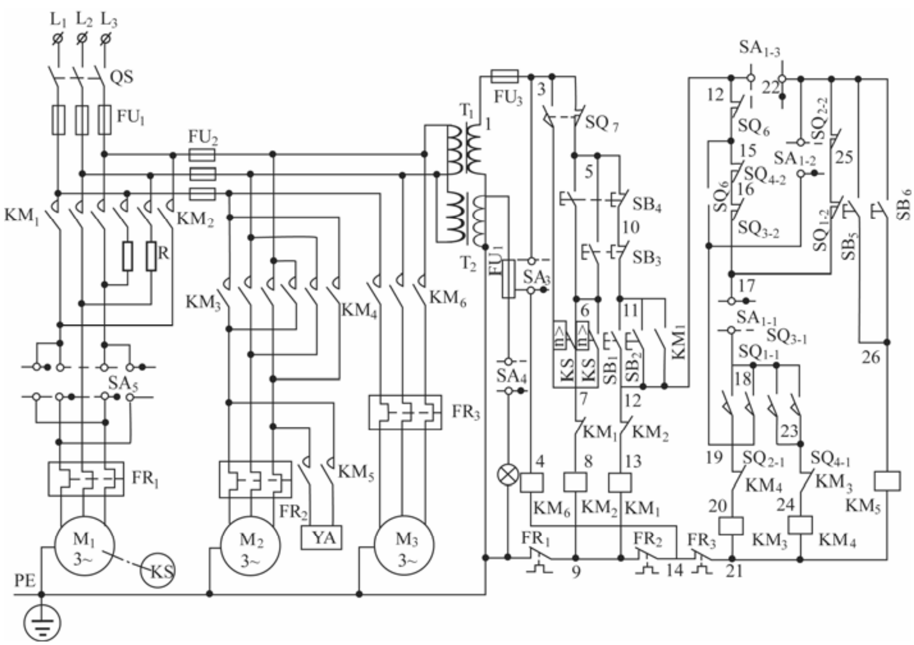


图 4.14　X62W 型卧式万能铣床的电气控制原理图

主电路中 M_1 为主轴电动机，SA_5 为组合开关，用于选择电动机 M_1 的旋转方向，R 为反接制动电阻，KS 为速度继电器，利用其相关的触点接在控制电路中，实现主轴电动机的反

接制动停车，热继电器 FR_1 用于 M_1 的长期过载保护。M_2 为工作台进给电动机，YA 为工作台快速移动电磁铁，由接触器 KM_5 及操作按钮 SB_5，SB_6 实现工作台的快速移动，热继电器 FR_2 用于 M_2 的长期过载保护。M_3 为冷却泵电动机，热继电器 FR_3 用于 M_3 的长期过载保护。熔断器 FU_2 用于电动机 M_2 和 M_3 的短路保护，熔断器 FU_1 用于主电路总的短路保护。

控制电路的电源由变压器 T_1 降压后供给。主轴电动机 M_1 由主接触器 KM_1、反接制动接触器 KM_2、启动按钮 SB_1，SB_2 及停止按钮 SB_3，SB_4 共同组成启动－反接制动－停车的控制电路；并通过主轴变速手柄压合限位开关 SQ_7 实现主轴的变速冲动。接触器 KM_3，KM_4 控制进给电动机 M_2 的正转、反转；SA_1 为矩形工作台和圆工作台的选择开关。SQ_1，SQ_2 为与纵向机械操作手柄有机械联系的行程开关，SQ_3，SQ_4 为与垂直和横向操作手柄有机械联系的行程开关。当这两个机械手柄处在中间位置时，SQ_1～SQ_4 都处在未被压下的原始状态；当扳动操作手柄时，将压下相应的行程开关。SQ_6 为进给变速冲动的限位开关，当进给变速手柄拉到极限位置时，将压合 SQ_6，完成进给运动的变速冲动。

冷却泵电动机 M_3 通常在铣削加工时直接由选择开关 SA_3 控制；触点 SA_3（3-4）接通，接触器 KM_6 线圈通电吸合，电动机 M_3 启动运转，拖动冷却泵，送出冷却液，供铣削加工冷却。

照明电路的电源（36V）由变压器 T_2 降压后供给；照明灯 EL 直接由选择开关 SA_4 控制；熔断器 FU_4 用于短路保护。

2. 电气控制原理图分析

（1）主轴电动机控制电路分析。将图 4.14 中主轴电动机控制电路单独绘于图 4.15 中。合上电源开关后，选择开关 SA_5 扳合到正转位置，按下 SB_1 或 SB_2（两地操作），接触器 KM_1 线圈通电吸合，KM_1 主触点接通，电动机 M_1 正向启动运转，速度继电器 KS 动作，触点 KS（6-7）中的一对闭合，为电动机的反接制动作准备。停车时，按下停止按钮 SB_3 或 SB_4（两地操作），接触器 KM_1 线圈断电而 KM_2 线圈通电，相关触点动作后，电动机 M_1 串入电阻进行反接制动；当电动机的转速较低时，速度继电器 KS 复位，触点 KS（6-7）断开，使 KM_2 线圈断电，电动机反接制动结束。按下停止按钮时要注意将按钮按到底并保持一定的时间，在速度继电器 KS 触点断开后再将按钮松开。若主轴电动机需要反转，只需将选择开关 SA_5 扳合到反转位置，其启动－反接制动－停车的控制与正转的控制完全相同。

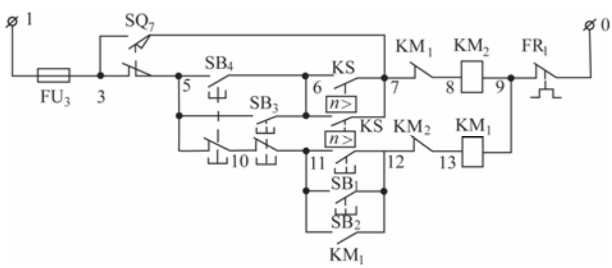
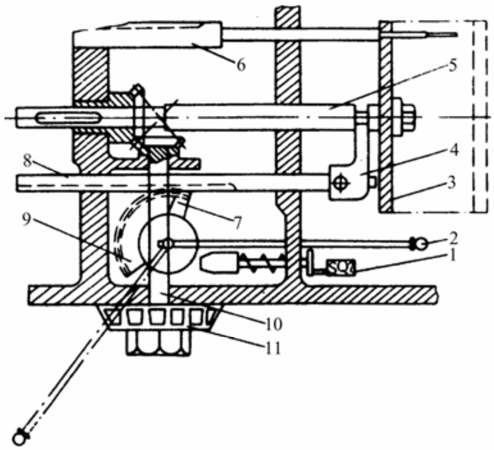


图 4.15　主轴电动机电气控制电路图

主轴在工作过程中，主轴的速度通过相应的机构进行调节。如图 4.16 所示为主轴变速操纵机构示意图，主轴变速采用圆孔盘式结构。其操作过程如下。



1—冲动开关；2—变速手柄；3—变速孔盘；4—拔叉；5—轴；
6—齿轮；7—凸轮；8—齿条；9—扇形齿轮；10—轴；11—变速数字盘

图 4.16　主轴变速操纵机构示意图

① 将主轴变速手柄 2 向下压，使手柄的榫块自槽中滑出，然后将手柄扳向左边，使榫块落在第二道槽内。在手柄扳向左边过程中，扇形齿轮 9 带动齿条 8、拔叉 4，在拔叉推动下将变速孔盘 3 向右移出，并脱离齿杆。

② 旋转变速数字盘 11，经扇形齿轮 9 带动孔盘旋转到对应位置，即选择好速度。

③ 将主轴变速手柄 2 扳回原位，使榫块落进槽内，此时通过传动机构，拔叉 4 将变速孔盘 3 推回，若恰好齿杆正对变速孔盘中的孔，变速手柄就能推回原位，这说明齿轮已啮合好，变速过程结束；若齿杆无法插入盘孔中，则发生了顶齿现象而啮合不上。这时则需再次拉出变速手柄，再推上，直至齿杆能推回原位。

由图 4.16 可知，就在变速手柄拉出推向左边及把手柄推回原位时，凸轮 7 都要压弹簧杆，进而推动冲动开关 1 并使其动作。如图 4.15 所示，开关触点 SQ_7（3-7）每闭合一下，KM_2 线圈瞬间通电一次，电动机 M_1 拖动主轴变速箱中的齿轮转动一下，使变速齿轮顺利滑入啮合位置，完成变速过程。在推回变速手柄时，动作要迅速，以免压合 SQ_7 时间过长，主轴电动机转速升得过高，不利于齿轮啮合甚至打坏齿轮。在变速手柄推回接近原位时，应减慢推动速度，便于齿轮啮合。

主轴变速可在主轴不转时进行，也可在主轴旋转时进行。由图 4.16 可知，操纵变速手柄时，冲动开关 SQ_7 受压动作，使得图 4.15 电路中的触点 SQ_7（3-5）在变速时先断开，则 KM_1 线圈先断电复位。触点 SQ_7（3-7）后闭合，再使 KM_2 线圈通电，对电动机 M_1 先进行反接制动，电动机转速迅速下降，然后再进行变速操作。变速完成后需重新启动电动机，主轴将在选定转速下旋转。

（2）进给电动机控制电路分析。如图 4.17 所示为进给电动机控制电路。主轴电动机 M_1 启动后，KM_1 线圈通电并自锁，为进给电动机启动做好准备。

当不需要圆工作台工作时，SA_1 置于“断开”位置，触点 SA_{1-1}，SA_{1-3} 闭合，SA_{1-2} 断开，即选择了矩台工作方式，进给电气控制电路的工作情况如下。

① 工作台纵向前后运动的控制。工作台前后运动由工作台纵向操作手柄控制，它有三个位置：后、中、前。当操作手柄扳在向前位置时，通过其联动机构将纵向进给机械离合器挂上，同时压下向前进给的行程开关 SQ_1，触点 SQ_1（18-19）闭合，接触器 KM_3 通电，进

给电动机 M_2 正向启动旋转，拖动工作台向前运动；当需要停止时，将手柄扳回中间位置，于是纵向进给离合器脱开，同时 SQ_1 不再受压，触点 SQ_{1-1}（18-19）断开，KM_3 断电，电动机 M_2 停止旋转，工作台停止向前运动。

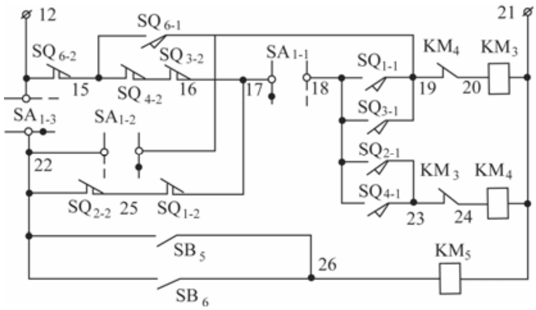


图 4.17　进给电动机控制电路

当操作手柄扳在向后位置时，通过其联动机构将纵向进给机械离合器挂上，同时压下向前进给的行程开关 SQ_2，触点 SQ_2（18-23）闭合，接触器 KM_4 通电，进给电动机 M_2 反向启动旋转，拖动工作台向后运动；当需要停止时，将手柄扳回中间位置，于是纵向进给离合器脱开，同时 SQ_2 不再受压，触点 SQ_{2-1}（18-23）断开，KM_4 断电，电动机 M_2 停止旋转，工作台停止向后运动

工作台前后运动的行程长短，由安装在工作台前方操作手柄两侧的挡铁来决定。当工作台前后运动到预定位置时，挡铁撞动纵向操作手柄，使它返回中间位置，使工作台停止，实现终端保护。

② 工作台垂直上下运动和横向左右运动的控制。由工作台升降与横向操纵手柄控制，该手柄共有五个位置：上、下、左、右和中间位置。在扳动操纵手柄的同时，将有关机械离合器挂上，同时压合行程开关 SQ_3 或 SQ_4。其中 SQ_4 在操作手柄向上或向左扳动时压下，而 SQ_3 在手柄向下或向右扳动时压下。

现以工作台向上运动为例分析电路工作情况。将操作手柄扳到向上位置，将垂直运动的离合器挂上，同时压下 SQ_4 开关，触点 SQ_{4-2}（15-16）断开，SQ_{4-1}（18-23）闭合，反转接触器 KM_4 通电，M_2 反转，拖动升降台连同工作台一起向上运动。当需停止时，将操作手柄扳回中间位置，此时离合器脱开，同时 SQ_4 不再受压而复位，触点 SQ_{4-1}（18-23）断开，KM_4 断电，电动机 M_2 停止旋转，工作台停止。

在铣床床身导轨旁设置了上、下两块挡铁，当升降台上下运动到一定位置时，挡铁撞动操作手柄，使其回到中间位置，从而实现工作台垂直运动的终端保护。

操作手柄如扳在向右位置，则横向运动机械离合器挂上，同时压下 SQ_3，触点 SQ_{3-1}（18-19）闭合，SQ_{3-2}（16-17）断开，KM_3 通电，M_2 电动机正转，拖动工作台在升降台上向右运动。工作台横向运动的终端保护由安装在工作台侧面底部的挡铁撞动操作手柄返回中间位置来实现。

③ 工作台的快速移动。工作台三个方向的快速移动也是由进给电动机拖动的，当工作台已经进行工作时，如再按下快速移动按钮 SB_5 或 SB_6，使 KM_5 通电，接通快速移动电磁铁 YA，衔铁吸上，经丝杆将进给传动链中的摩擦离合器合上，减少中间传动装置，工作台按原运动方向实现快速移动。SB_5 或 SB_6 松开时，KM_5，YA 相继断电，衔铁释放，摩擦离

合器脱开，快速移动结束，工作台仍按原进给速度、原方向继续运动，所以快速移动是点动控制。

工作台也可在主轴电动机不转情况下进行快速移动，这时就将主轴换向开关 SA_5 扳在“停止”位置，然后按下 SB_1 或 SB_2，使 KM_1 通电并自锁，操纵工作台手柄，使进给电动机 M_2 启动旋转，再按下快速移动按钮 SB_5 或 SB_6，工作台便可获得主轴不转下的快速移动。

④ 进给变速时的“冲动”控制。在进给变速时，为使齿轮易于啮合，电路中设有变速“冲动”控制环节。进给变速冲动是由进给变速手柄配合进给变速冲动开关 SQ_6 实现的。操作顺序是：将蘑菇形进给变速手柄向外拉出，转动蘑菇手柄，速度转盘随之转动，将所需进给速度对准箭头；然后再把变速手柄继续向外拉至极限位置，随即推回原位，若能推回原位则变速完成。就在将蘑菇手柄拉到极限位置的瞬间，其联动杠杆压合行程开关 SQ_6，使触点 $SQ_{6\text{-}2}$（12-15）先断开，而触点 $SQ_{6\text{-}1}$（15-19）后闭合，电源经点 12–22–17–15–19，使 KM_3 通电，M_2 正转启动。由于在操作时只使 SQ_6 瞬时压合，所以电动机只瞬动一下，拖动进给变速机构瞬动，利于变速齿轮啮合。

当加工螺旋槽、弧形槽时，可选择圆工作台工作方式，将选择开关 SA_1 扳合到“接通”位置，触点 $SA_{1\text{-}1}$，$SA_{1\text{-}3}$ 断开，$SA_{1\text{-}2}$ 接通，并将工作台两个进给操作手柄置于中间位置，即 SQ_1～SQ_4 全不受压。由图 4.14 可知，按下主轴启动按钮 SB_1 或 SB_2，主轴电动机 M_1 启动旋转，同时 KM_3 因 KM_1 通电自锁而通电，于是 M_2 启动旋转。另外，圆工作台控制电路是经过行程开关 SQ_1～SQ_4 的四对常闭触点形成闭合回路的，所以操作任一矩形工作台进给手柄，都将切断圆工作台控制电路，实现了圆形工作台和矩形工作台的联锁关系。圆工作台停止工作时，可按下主轴停止按钮 SB_3 或 SB_4，KM_1，KM_3 相继断电，圆工作台停止回转。

3. 常见故障分析

（1）主轴电动机不能启动。故障的主要原因有：主轴换向开关打在停止位置；控制电路熔断器 FU_3 熔丝烧断；按钮 SB_1，SB_2，SB_3 或 SB_4 的触点接触不良或接线脱落；热继电器 FR_1 已动作过，未能复位；主轴变速冲动行程开关 SQ_7 的常闭触点不通；接触器 KM_1 线圈及主触点损坏或接线脱落。根据具体情况，逐项排除故障。

（2）主轴不能变速冲动。故障的原因是主轴变速冲动行程开关 SQ_7 位置移动、撞坏或断线。

（3）主轴不能反接制动。故障的主要原因有：按钮 SB_3 或 SB_4 触点损坏；速度继电器 KV 损坏；接触器 KM_2 线圈及主触点损坏或接线脱落；反接制动电阻 R 损坏或接线脱落。

（4）按下停止按钮后主轴不停。故障的原因一般是接触器 KM_1 的主触点熔焊，不能断开造成的。

（5）工作台不能进给。故障的原因主要有：接触器 KM_3，KM_4 线圈及主触点损坏或接线脱落；行程开关 SQ_1，SQ_2，SQ_3 或 SQ_4 的常闭触点接触不良或接线脱落；热继电器 FR_2 已动作，未能复位；进给变速冲动行程开关 SQ_6 常闭触点断开；两个操作手柄都不在零位；电动机 M_2 已损坏；选择开关 SA_1 损坏或接线脱落。

（6）进给不能变速冲动。故障的原因一般是变速冲动开关 SQ_6 位置移动、撞坏或接线脱落。

（7）工作台能够垂直上下和横向左右进给，但不能纵向前后进给。故障的主要原因是行程开关 SQ_1，SQ_2 的常开接点损坏或接线脱落。

（8）工作台不能快速移动。故障的主要原因有：快速移动按钮 SB_5 或 SB_6 的触点接触不良或接线脱落；接触器 KM_5 线圈及主触点损坏或接线脱落；快速移动电磁铁 YA 损坏。

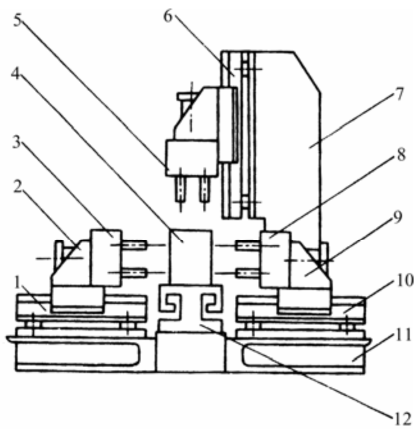
4.5　组合机床简介

前面主要介绍了通用机床的电气控制，在机床加工中只能一道一道工序地进行，不易实现多刀、多面同时加工，其生产效率低，加工质量不稳定，操作频繁。为了改善生产条件，满足生产发展的专业化、自动化要求，人们在长期生产实践中不断创造、不断改进，逐步形成了各类专用机床。专用机床是为完成工件某一道工序的加工而设计制造的，可采用多刀加工，具有自动化程度高，生产效率高，加工精度稳定，机床结构简单、操作方便等优点。但当零件结构与尺寸改变时，需重新调整机床或重新设计、制造，不利于产品的更新换代。

为了克服专用机床的不足，在生产中发展了一种新型的加工机床。它以通用部件为基础，配合少量的专用部件组合而成，具有结构简单、生产效率和自动化程度高的特点。一旦被加工零件的结构尺寸、形状发生变化时，能较快地进行重新调整，组合成新的机床。这一特点有利于产品的更新，目前在许多行业中得到广泛应用。

4.5.1　组合机床的组成结构

如图 4.18 所示为单工位三面复合式组合机床结构示意图。它由底座、立柱、滑台、动力头、动力箱等通用部件，多轴箱、夹具等专用部件以及控制、冷却、排屑、润滑等辅助部件组成。



1，6，10—滑台；2，9—动力头；3，5，8—动力箱；
4—工件；7—立柱；11—底座；12—工作台

图 4.18　单工位三面复合式组合机床结构示意图

通用部件是经过系列设计、试验和长期生产实践考验的，其结构稳定、工作可靠，由专业生产厂成批制造，经济效益好，使用维修方便。一旦被加工零件改变时，这些通用部件可根据需要组合成新的机床。在组合机床中通用部件一般占机床零部件总量的 70%～80%。

组合机床的通用部件主要包括以下几种。

（1）动力部件。动力部件用来实现主运动或进给运动。有动力滑台、动力箱和各种动力头。

（2）支承部件。支承部件主要为各种底座，用于支承、安装组合机床的其他零部件，它是组合机床的基础部件。

（3）输送部件。输送部件用于多工位组合机床中，用来完成工件的工位转换，有直线移动工作台、回转工作台、回转鼓轮工作台等。

（4）控制部件。用于组合机床完成预定的工作循环程序。它包括液压元件、控制挡铁、操纵板、按钮台及电气控制部分。

（5）辅助部件。辅助部件包括冷却、排屑、润滑等装置，以及机械手、定位、夹紧、导向等部件。

4.5.2　组合机床的工作特点

组合机床主要由通用部件装配组成，各种通用部件的结构虽有差异，但它们在组合机床上的工作却是协调的，能发挥较好的效果。

组合机床通常是从几个方向对工件进行加工，它的加工工序集中，要求各个部件的运动顺序、速度、启动、停止、正向、反向、前进、后退等均应协调配合，并按一定的程序自动或半自动地进行。加工时应注意各部件之间的相互位置，精心调整每个环节，避免在大批量加工生产中造成严重的经济损失。

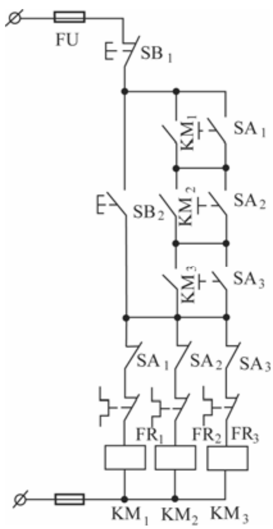


图 4.19　多台电动机同时启动控制电路

4.5.3　组合机床控制电路的基本控制环节

1. 多台电动机同时启动的控制电路

如图 4.19 所示为多台电动机同时启动控制电路。图中 KM_1，KM_2，KM_3 分别为三台电动机的控制接触器，SA_1，SA_2，SA_3 分别为三台电动机的单独工作的调整开关，FR_1，FR_2，FR_3 分别为三台电动机的热继电器。

启动时，SA_1～SA_3 处于常开触点断开、常闭触点闭合的状态。按下 SB_2，KM_1，KM_2，KM_3 线圈同时通电并自锁，三台电动机同时启动。

当需要单独调整组合机床的某一运动部件，即只要求某一台电动机单独工作时，只要操作相应的调整开关即可实现。如需 M_3 电动机单独工作，只要扳动 SA_1，SA_2，使其常闭触点断开，常开触点闭合，这时按下 SB_2，则只有 KM_3 线圈通电自锁，使 M_3 启动运行，达到单独调整的目的。

电路中 KM_1～KM_3 常开辅助触点串联后形成自锁电路，当任一台电动机过载，热继电器动作时，保证其余二台电动机也不能工作，达到同时启动、同时保护的目的。在单机调整时，则由相应的调整开关与自锁触点并联来实现回路的导通，从而达到单机调整的目的。

注意当多台电动机同时启动时，将使电路的启动电流过大，对电网的其他用户设备有影响。

2. 两台动力头同时启动、同时或分别停机的控制电路

如图 4.20 所示为两台动力头同时启动与停机的控制电路。图中 SQ_1，SQ_3 为甲动力头在原位压动的行程开关，SQ_2，SQ_4 为乙动力头在原位压动的行程开关，KA 为中间继电器，SA_1，SA_2 为单独调整开关。

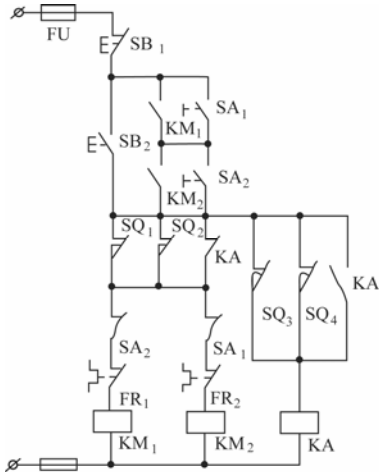


图 4.20　两台动力头同时启动与停机的控制电路

启动时，按下 SB_2，KM_1，KM_2 通电并自锁，电动机启动运转，甲乙两动力头同时启动，当动力头离开原位后，SQ_1～SQ_4 全部复位，KA 通电并自锁，其常闭触点断开，KM_1，KM_2 依靠 SQ_1，SQ_2 常闭触点保持通电，动力头电动机继续工作。

当动力头加工结束，退至原位时，分别压下 SQ_1～SQ_4，使 KM_1，KM_2 线圈断电，达到同时停机的目的。同时 KA 也断电，其常闭触点复原，为再次启动做准备。操作 SA_1 或 SA_2 可实现单台动力头调整工作。

如图 4.21 所示为两台动力头同时启动与分别停机的控制电路。图中 SQ_1，SQ_3 为甲动力头在原位压动的行程开关，SQ_2，SQ_4 为乙动力头在原位压动的行程开关，KA 为中间继电器，利用其两对触点实现分别停机控制。SB_2 为复合按钮，来实现两台电动机的同时启动，SA_1，SA_2 为单独调整开关。

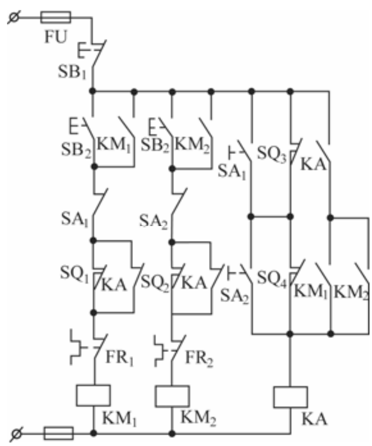


图 4.21　两台动力头同时启动与分别停机的控制电路

启动时，按下 SB_2，KM_1，KM_2 通电并自锁，电动机启动运转，甲乙两动力头同时启动，当动力头离开原位后，SQ_1～SQ_4 全部复位，KA 通电并自锁，其常闭触点断开，KM_1，KM_2 依靠 SQ_1，SQ_2 常闭触点保持通电，动力头电动机继续工作。

当甲动力头加工结束，退至原位时，分别压下 SQ_1，SQ_3，使 KM_1 线圈断电，甲动力头停止运动。而乙动力头则继续工作。当乙动力头加工结束，退至原位时，分别压下 SQ_2，SQ_4，使 KM_2 线圈断电，乙动力头停止运动。此时，KA 也断电，其常闭触点复原，为再次启动作准备。操作 SA_1 或 SA_2 可实现单台动力头调整工作。

3. 主轴不转时引入和退出的控制电路

组合机床在加工中有时要求进给电动机拖动的动力部件，在主轴不转的状态下向前运动，当运动到接近工件加工部位时，主轴才开始启动运转。加工结束，动力头退离工件时，主轴即停止，而进给电动机当动力部件退回到原位后才停止。并要求在加工过程中，主轴电动机与进给电动机两者之间要联锁，以达到保护刀具、工件和设备安全的目的。

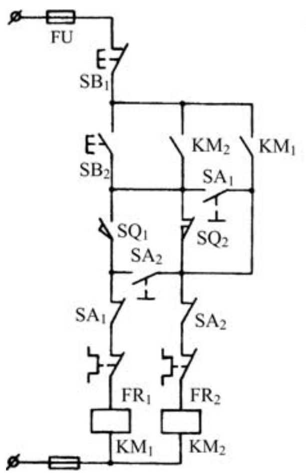


图 4.22　主轴不转时引入和退出的控制电路

如图 4.22 所示为主轴不转时引入和退出的控制电路。图中 KM_1，KM_2 分别为主轴电动机和进给电动机接触器。SQ_1，SQ_2 为实现加工时进给运动和主轴旋转联锁的行程开关，加工过程中一直由长挡铁压着。

启动时，按下启动按钮 SB_2，KM_2 线圈经 SQ_2 常闭触点通电并自锁，进给电动机启动，拖动运动部件开始进给，当进给到主轴接近工件的加工部位时，挡铁 A 压下 SQ_1，KM_1 线圈通电，主轴电动机启动旋转，开始加工。此时 KM_1，KM_2 辅助触点同时为 KM_1，KM_2 线圈提供供电回路。当运动部件继续前进很小距离后，挡铁压下 SQ_2，常闭触点断开，使 KM_1，KM_2 线圈通过对方已闭合的常开辅助触点继续通电，构成互锁电路。加工结束，动力头退回，主轴退到挡铁释放 SQ_2 时，KM_2 线圈由 KM_1，KM_2 常开辅助触点并联供电，动力头继续后退。当挡铁 A 释放 SQ_1 时，KM_1 线圈断电，主轴电动机停转，但 KM_2 仍自锁，进给系统继续退回，实现了主轴不转时的退出。直到动力头退回原位，按下 SB_1，进给电动机停转，加工过程结束。

通过操作调整开关 SA_1，SA_2，可实现进给电动机和主轴电动机单独工作。

4. 危险区自动切断电动机的控制电路

组合机床加工工件时，往往从几个加工面用多把刀具同时进行，此时就有可能出现刀具在工件内部发生相碰撞的危险，这个区域称为“危险区”。图 4.23 所示为加工交叉孔零件，用两把钻头从工件相互垂直的两表面同时进行钻削加工，当钻头加工至两孔相连接的位置时，可能出现两钻头相撞事故。因此，通常在加工过程中，在两钻头进入危险区之前，其中一台动力头暂停进给，另一台动力头则继续加工，直到加工结束退离危险区，再启动暂停进给的那一台动力头继续加工，直至完成全部加工。

如图 4.24 所示为危险区自动切断电动机的控制电路。图中 KM_1，KM_2 为甲乙两动力头接触器，KA_1，KA_2 为中间继电器，SQ_1，SQ_3 为甲动力头在原位压动的行程开关，SQ_2，

SQ_4 为乙动力头在原位压动的行程开关，SQ_5 为危险区开关。按下 SB_2，KM_1，KM_2 同时通电，并由 KA_1 自锁，甲乙两动力头同时启动运行，当动力头离开原位后，SQ_1～SQ_4 全部复位，KA_2 通电并自锁，其常闭触点断开，为加工结束停机作准备。此时 KA_1，KM_2 分别经由 SQ_1，SQ_2 常闭触点继续通电。当动力头加工进入危险区时，甲动力头压下行程开关 SQ_5，使 KM_1 线圈断电，甲动力头停止进给。乙动力头仍继续进给加工，直到加工结束，退回原位并压下 SQ_2，SQ_4，接触器 KM_2 才断电，乙动力头停止在原位。此时 KM_1 线圈又再次通电，甲动力头重新启动继续进给，直到加工结束、退回原位并压下 SQ_1，SQ_3，此时 KA_1，KA_2，KM_1 相继断电，整个加工循环结束。

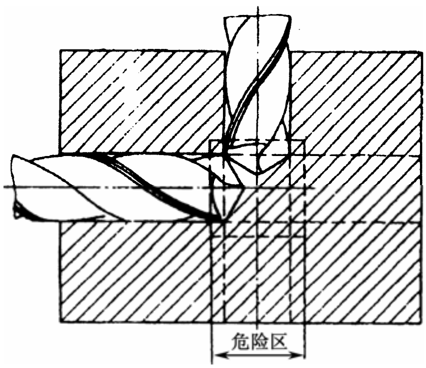


图 4.23　危险区加工示意图

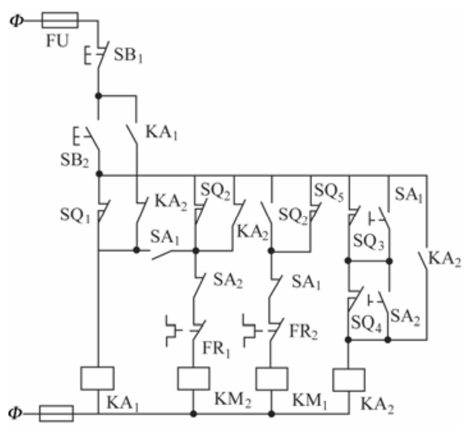


图 4.24　危险区自动切断电动机的控制电路

单独调整动力头时，可分别操作 SA_1，SA_2 开关。若需甲动力头单独工作，则可操作开关 SA_2 使其常闭触点断开，使 KM_2 无法通电，乙动力头不工作，SQ_2，SQ_4 始终被压下，SA_2 常开触点闭合，将 SQ_4 短接，为 KA_2 提供供电电路。此时按下 SB_2，KA_1 通电并自锁，同时 KM_1 通电，甲动力头进给，离开原位后，SQ_1，SQ_3 开关复位，KA_2 通电并自锁。KA_1 通过 SQ_1 常闭触点继续保持通电，当进给到危险区，压下行程开关 SQ_5，但由于 SQ_2 始终受压，KM_1 经 SQ_2 触点继续通电，直到加工结束，退到原位压下 SQ_1，SQ_3，使 KA_1，KA_2，KM_1 相继断电，甲动力头单独工作结束。

若需乙动力头单独工作，则可操作开关 SA_1，使其常闭触点断开，使 KM_1 无法通电，甲动力头不工作，SQ_1，SQ_3 始终被压下，SA_1 常开触点闭合，将 SQ_3 短接，为 KA_2 提供供电电路。此时按下 SB_2，KA_1 通电并自锁，同时 KM_2 线圈通电，乙动力头进给。当它离开原位后，SQ_2，SQ_4 复位，KA_2 通电并自锁，KA_1，KM_2 经 SQ_2 触点继续通电，直到加工结束，退到原位压下 SQ_2，SQ_4，使 KA_1，KA_2，KM_2 相继断电，乙动力头单独工作结束。

【内容检核】

（1）常用机床的结构组成、运动情况及机床电气控制原理图的组成及分析方法，包括普通车床、平面磨床、摇臂钻床和铣床等。

（2）机床运行中常见故障及排除方法。

（3）几种通用机床的电气控制的特点：C620—1 普通车床通过变换传动链的机械变速来满足车床的恒功率负载的要求；C650—2 普通车床主轴电动机容量比较大，设有主轴电气反接制动环节、点动调整环节及负载的检测环节，另外还设有刀架快速移动电动机；M7130

平面磨床采用电磁吸盘控制；Z35，Z3040 摇臂钻床主轴箱和立柱松开与夹紧的控制及摇臂的松开、移动与夹紧的自动控制，利用了机、电、液的相互配合；X62W 卧式万能铣床主轴设有反接制动、变速冲动环节，进给运动也设有变速冲动环节，并利用机械操作手柄与行程开关、机械挂挡的操作控制及三个运动方向进给、圆工作台的联锁关系。

（4）组合机床的组成结构、工作特点，以及组合机床电气控制的基本控制环节。



思考与练习

1．说明下列机床的型号含义：① C650—1；② C650—2；③ M7130；④ Z35；⑤ Z3040；⑥ X62W。

2．试分析 C620—1 型普通车床电气控制原理图及工作过程。

3．试分析 C650—2 型与 C620-1 型普通机床电气控制有什么区别。

4．M7130 平面磨床采用电磁吸盘夹持工件有何优点？为什么电磁吸盘要用直流电而不能用交流电？

5．M7130 平面磨床控制电路中采用了哪些保护环节？

6．Z35 摇臂钻床的控制电路中：① 为什么要设置失压继电器？② 分析十字开关在不同位置时电流通路的情况。③ 限位开关 SQ_1，SQ_2 有何作用？

7．在 Z3040 摇臂钻床中，时间继电器 KT 与电磁阀 YV 在什么时候动作，YV 动作时间比 KT 长还是短？YV 什么时候不动作？

8．试叙述 Z3040 摇臂钻床操作摇臂下降时电路的工作情况。

9．Z3040 摇臂钻床电路中，有哪些联锁与保护环节？有何作用？

10．根据 Z3040 摇臂钻床的控制电路，分析摇臂不能下降可能出现的故障。

11．X62W 万能铣床由哪些基本控制环节组成？

12．X62W 万能铣床控制电路中具有哪些联锁与保护？有何作用？它们是如何实现的？

13．X62W 万能铣床控制电路中：① 主轴的变速冲动是如何控制的？简述其操作步骤。② 进给变速冲动是如何控制的？简述其操作步骤。

14．在 X62W 控制电路中，若发生下列故障，试分别分析故障原因。

① 主轴停车时，正、反方向都没有制动作用。

② 进给运动中能上、下、左、右、前运动，不能后运动。

③ 进给运动中能上、下、右、前、后运动，不能左运动。

15．组合机床主要由哪些部件组成的？有何工作特点？

16．组合机床的电气控制电路有哪些基本控制环节？有什么特点？

技能训练 4.1　铣床的电气控制和故障检修

【训练目的】

① 熟悉 X62W 铣床主轴电动机的正反转及反接制动的电气控制原理和常见故障。

② 学会分析铣床的电气控制电路和检修常见故障的方法。

【训练工具】

三相鼠笼型异步电动机、万用表、钢丝钳、螺丝刀、台钻等。按钮、组合开关、限位开

关、转换开关、熔断器、热继电器、接触器、速度继电器、电器控制工作台、木板、连接导线等。

【训练步骤】

① 观摩学习 X62W 卧式万能铣床的外形结构、工作原理、操作及部分控制电路；

② 参考图 4.14 所示 X62W 型铣床电气控制电路图，绘出相应控制环节的主电路、控制电路；

③ 根据控制要求绘出电器安装位置图；

④ 根据电气控制电路图及电器位置图，安装电器，连接导线；

⑤ 完成控制电路后进行调试，直到实现控制要求；

⑥ 设置故障，进行故障现象分析、判断，并加以改进。将结果记录在表 4.2 中。

表 4.2　X62W 型铣床电气控制电路故障分析表

序　　号	故 障 现 象	故 障 类 型	解 决 方 法	指 导 教 师
1				
2				
3				
4				
5				

第 5 章　桥式起重机的电气控制

学习目标

◆ 知识目标　了解起重机的结构、运动及电气控制、保护环节的基本知识，掌握凸轮控制器、主令控制器、电磁制动器的应用及起重机的电气控制分析。

◆ 能力目标　能独立阅读以起重机为典型代表的生产机械电气控制原理图。结合实际初步了解起重机的结构、运动及电气控制特点。

重点和难点

◆ 重点　起重机的结构、运动及电气控制特点；凸轮控制器、主令控制器的电气控制；起重机电气控制系统图分析。

◆ 难点　起重机的供电、电气控制、电气保护（如过载保护）特点；平移机构与提升机构的不同电气控制方法。

起重机是专门用来起吊和短距离搬运重物的一种生产机械。广泛用于工矿企业、车站、港口、仓库、建筑工地等场所，以完成各种繁重任务，改善人们的劳动条件，提高劳动生产率，是现代化生产不可缺少的工具。按其结构和运动形式的不同，起重机可分为桥式起重机、门式起重机、塔式起重机、旋转起重机及缆索起重机等。本章以介绍应用广泛的桥式起重机为主。

5.1　桥式起重机概述

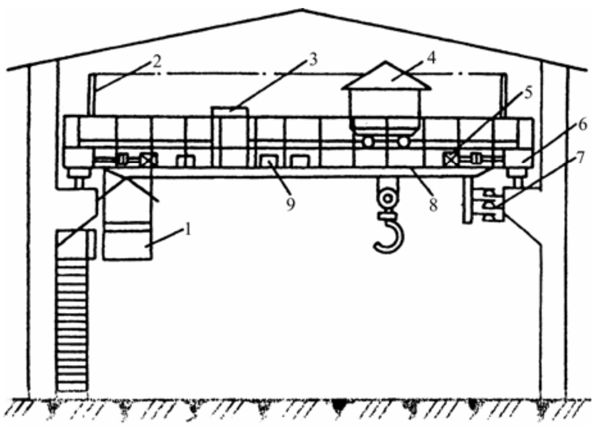
桥式起重机又称“天车”或“行车”，是一种在固定跨度上空用来吊运各种物件的设备。桥式起重机按起吊装置不同，可分为吊钩桥式起重机、电磁盘桥式起重机和抓斗桥式起重机。其中以吊钩桥式起重机应用最广。

5.1.1　桥式起重机的结构及运动形式

如图 5.1 所示是桥式起重机的结构示意图。

桥式起重机主要有大车和小车组成的桥架机构，主钩和副钩组成的提升机构。大车的轨道铺设在车间两侧的立柱上，大车可在轨道上沿车间纵向移动，这样，起重机可以在大车能够行走的整个车间范围内进行起重运输；大车上有小轨道供小车横向移动。主钩和副钩都装在小车上，主钩用来提升重物，副钩除可提升轻物外，在它额定负载范围内也可协同主钩倾转或翻转工件用。但不允许两钩同时提升两个物件，每个吊钩在单独工作时均只能起吊重量不超过额定重量的重物，当两个吊钩同时工作时，物件重量不允许超过主钩起重量。一般起

吊负荷在 15t 以上的桥式起重机，才设有主、副钩。双钩起重机以分数形式表示起吊重量，分子表示主钩起重量，分母表示副钩起重量。如 15/3t 表示主钩起吊重量为 15t，副钩起吊重量为 3t。



1—驾驶室；2—辅助滑线架；3—控制盘；4—小车；5—大车电动机；
6—大车端梁；7—主滑线；8—大车主梁；9—电阻箱

图 5.1　桥式起重机结构示意图

5.1.2　桥式起重机的主要技术参数

桥式起重机的主要技术参数有：起重量、跨度、起升高度、运行速度、提升速度、工作类型及通电持续率等。

起重量又称额定起重量，是指起重机实际允许的起吊最大负荷量，以 t 为单位。依据起重量大小，起重机可划分为三级：5t～10t 为小型，10t～50t 为中型，50t 以上为重型。不论属于哪个等级，其跨度（大车轨道中心线间的距离）有 10.5m～30.5m 共 8 个档次可供选用。

起重机的各部分运行速度为：大车 68m/min～120m/min，小车 30m/min～45m/min，主钩 3.5m/min～20m/min，副钩 7m/min～25m/min。

起重机的工作方式属于短时工作制，对电气影响最大的是它的负载持续率 JC%（工作时间与周期时间之比）及每小时接通的次数（*N*）。由这两个指标可以看出起重机的忙闲程度。

轻级工作制的起重机，其 *JC*% =15%，*N*<30，一般用于维修部门或小批量生产车间。

中级工作制时，其 *JC*% =25%，*N*=30～90，一般用于中等批量的生产场所。

重级工作制时，其 *JC*%=40%，*N*>90，一般用于大批量的生产车间或繁忙场所。

特重级工作制时，*JC*%=60%。一般用于冶金场合。

5.1.3　桥式起重机对电力拖动的要求

1．桥式起重机的工作状况

当桥式起重机处于重复短时工作状态时，常要求拖动电动机能够完成启动、制动、正反转等运行状态；且起重机的负载没有规律，时重时轻，并经常承受过载和机械冲击；另外起

重机一般工作在环境恶劣的情况下，多数在粉尘大、高温、高湿度或室外露天场所等环境中使用。

因此桥式起重机工作状况比较复杂，所以对起重用电动机、提升机构及移行机构等的电力拖动要求较高。

2. 桥式起重机对电力拖动及电气控制的要求

（1）电动机选择专用起重电动机。它按重复短时工作制设计制造，具有较大的启动转矩和过载能力；转动惯量小；采用坚固的封闭式机械结构，耐热绝缘等级较高；调速方便。因此多选用绕线式异步电动机。

（2）要有合理的升降速度。空载、轻载时要求速度快，以减小辅助工时；重载要求速度慢。

（3）具有一定的调速范围。对于普通起重机调速范围一般为 3∶1，要求较高的地方可以达到（5～10）∶1。

（4）提升开始或重物下降至预定位置时，都需要低速。为满足要求，桥式起重机在 30%额定速度内应分成几挡，以便灵活操作。

（5）提升的第一级为预备级。这是为了消除传动间隙，张紧钢丝绳，以避免过大的机械冲击。所以启动转矩不能大，一般限制在额定转矩的一半以下。

（6）当下放负载时，根据负载大小，拖动电动机的转矩可以是电动转矩，也可以是制动转矩，两者之间的转换是自动进行的。

（7）制动装置采用电气和机械双重制动。

（8）有完善的电气保护和联锁环节。

起重机的控制设备有两种：一种是采用凸轮控制器直接去控制电动机的起停、正反转、调速和制动。这种控制方式由于受到控制器触点容量的限制，故只适用于小容量起重机的控制。另一种是采用主令控制器与磁力控制屏配合的控制方式，适用于容量较大、调速要求较高的起重机和工作繁重的起重机。对于 15t 以上的桥式起重机，一般同时采用两种控制方式，主提升机构采用主令控制器配合控制屏控制的方式，移动机构和副提升机构采用凸轮控制器控制方式。

5.1.4 桥式起重机的供电特点

交流起重机电源由公共交流电网供电。由于起重机的工作是经常移动的，因此其与电源之间不能采用固定连接方式。对于小型起重机供电方式采用软电缆供电，随着大车或小车的移动，供电电缆随之伸展和叠卷。对于一般桥式起重机常用滑线和电刷供电。三相交流电源接到沿车间长度方向架设的三根主滑线上，再通过电刷引到起重机的电气设备上，首先进入驾驶室中保护盘上的总电源开关，然后再向起重机各电气设备供电。

对于小车及提升机构等电气，由位于桥架另一侧的辅助滑线来供电。本控制电路共有 21 根辅助滑触线，如图 5.8 所示。它们的作用分别为：主钩 10 根，其中 3 根连接主钩电动机 M_5 的定子绕组（$5M_1$，$5M_2$，$5M_3$）接线端；3 根连接到转子绕组与转子附加电阻 5R；主钩制动电磁铁 YA_5，YA_6 接交流磁力控制屏 2 根；主钩上升限位开关 SQ_a 接交流磁力控制屏与主令控制器两根。副钩部分 6 根，其中 3 根连接到副钩电动机 M_1 的转子绕组与转子附加电阻 1R，2 根连接定子绕组（$1M_1$，$1M_3$）接线端与凸轮控制器 SA_1，另一根为副钩上升限

位开关 SQ_b 接在交流保护柜。小车部分 5 根，其中 3 根连接小车电动机 M_2 转子绕组与转子附加电子 2R，2 根连接 M_2 定子绕组（$2M_1$，$2M_2$）接线端与凸轮控制器 SA_2。

滑线通常用角钢、圆钢、V 形钢或钢轨来制成。当电流值很大或滑线太长时，为减小滑线电压，常将角钢与铝排逐段并联，以减小电阻。

5.2　桥式起重机的电器设备及控制保护装置

5.2.1　凸轮控制器及其控制线路

1．凸轮控制器

凸轮控制器是一种大型手动控制电器。用以直接操作与控制电动机的正反转、调速、启动与停止，广泛用于中、小型起重机的平移机构和小型起重机提升机构的电动机控制。

由于它直接控制电动机工作，所以触头容量大并有灭弧装置。其结构如图 5.2 所示，主要由触头、转轴、凸轮、杠杆、手柄、灭弧装置及定位机构等组成。当转轴在手柄扳动下转动时，固定在轴上的凸轮同轴一起转动，当凸轮的凸起部位支住杠杆上的滚子时，便将动、静触点分开；当凹起部位与滚子相对时，触点复位，实现了触点接通与断开的目的。

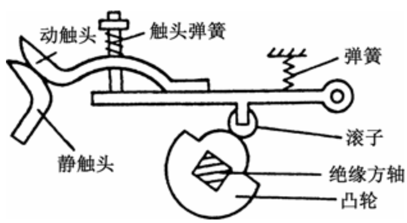
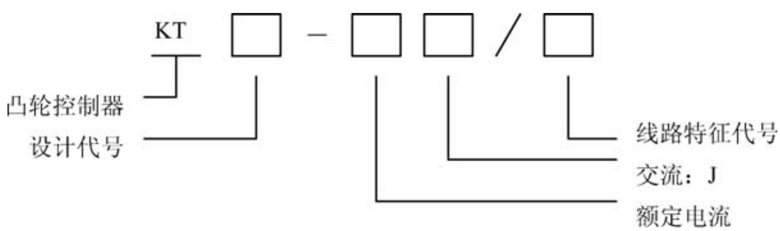


图 5.2　凸轮控制器结构原理图

在方轴上可以叠装不同形状的凸轮块，以使一系列动静触点按预先安排的顺序接通与断开。将这些触点接到电动机电路中，便可实现控制电动机的目的。

常用的凸轮控制器有 KT10，KT14 型。额定电流有 25A，60A。型号含义如下：



凸轮控制器的常用技术数据有：额定电流、工作位置数、触点数等。按重复短时工作制设计，通电持续率为 25%。如用于间断长期工作时，其发热电流不应大于额定电流。

控制器的图形符号如图 5.3 所示。竖虚线为工作位置，横线为触点位置，在横竖两条线交点的下面有“●”，表示该工作位置这一对触点是闭合接通的；若无“●”，则表示该触点在这一工作位置是断开的。该图有 4 对触点，前后共 4 个操作位置，“0”表示手柄处在中间位置。

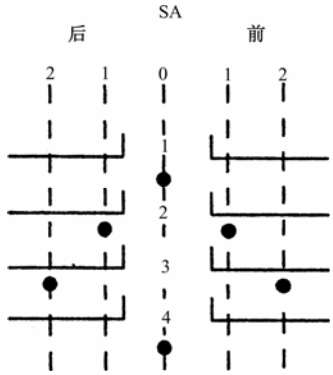


图 5.3　凸轮控制器的图形符号

2．凸轮控制器控制电路

图 5.4 所示为凸轮控制器原理图，用来控制起重机的平移或提升机构电动机。

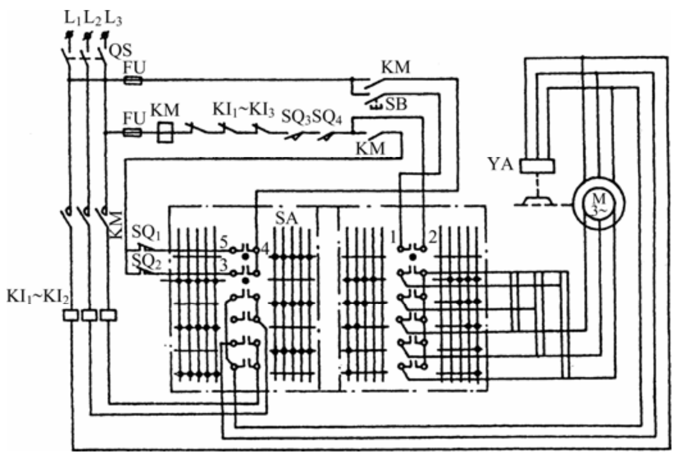


图 5.4　凸轮控制器控制原理图

（1）电路特点。

① 可逆对称电路。凸轮控制器左右各有 5 个挡位，采用对称接法，即控制器手柄处在正转和反转的相应位置时，电动机工作情况完全相同。

② 为减少转子电阻段数及控制转子电阻的触点数，绕线电动机转子串接不对称电阻。

③ 在提升重物时，控制器第一挡位为预备级，第二～五挡将逐级提高提升速度，电动机工作于电动状态。

在重物下放时，电动机工作在再生发电制动状态。此时，应将控制器手柄由零位直接扳至下降第五挡位，而且途经中间挡位不许停留。往回操作时，也应从下降第五挡位快速扳回零位，不然将引起重载高速下降，这是不允许的。

注意

该控制电路不能获得重载或轻载时的低速下降。为了在下降时能获得准确定位，需采用点动操作，即将控制器手柄在下降第一挡与零位之间来回操作，并配合电磁抱闸来实现。

（2）电路分析。由图 5.4 可知，凸轮控制器 SA 在零位时有 9 对常开触点，3 对常闭触点。其中 4 对主触点用于电动机正反转控制；另 5 对主触点用于接入与切除电动机转子不对称电阻。控制器的 3 对常闭触点用来实现零位保护、并配合两个运动方向限位开关（SQ_1，SQ_2）实现安全保护。

YA 为电磁制动器，当其电磁线圈通电时，依靠电磁力将制动器松开；当断电时，制动器将电动机刹住。

控制电路设有过电流继电器 KI_1～KI_3，实现电动机过电流保护。紧急事故开关 SQ_3 实现事故保护，操纵室顶端舱口开关 SQ_4 实现大车无人且舱口关好才可开车的安全保护等。

操作凸轮控制器时应注意：当将控制器手柄由左扳到右，或由右到左时，中间必须通过零位，为减小反向冲击电流，应在零位挡稍停留，同时也使传动机构获得平稳的反向过渡。另外，在进行重载下降操作时，应先将手柄直接扳至下降速度的挡位。

5.2.2　主令控制器及其控制线路

凸轮控制器控制电路具有结构简单、维修方便、经济等优点。但由于控制器触点直接用来控制电动机主电路，所以要求触点容量大，控制器体积增大，操作不便，并且不能低速下放重物。为此，当电动机容量较大，工作繁重，操作频繁，调速性能要求较高时往往采用主令控制器。由主令控制器的触点来控制接触器，再由接触器来控制电动机。这样，控制器的触点容量可大大减小，操作轻便。同时，通过接触器来控制电动机可获得较好的调速性能，更好地满足起重机的控制要求。

1．主令控制器

主令控制器是用来频繁切换复杂的多个控制电路的主令电器。主要用于起重机、轧钢机及其他生产机械磁力控制盘的远距离控制。

主令控制器的结构与工作原理基本上和凸轮控制器相同，如图 5.5 所示，它也是利用凸轮来控制触点的断合。在方形转轴上安装一串不同形状的凸块，当手柄在不同位置时，就可获得同一触点接通或断开的效果。再由这些触点去控制接触器，就可以获得按一定要求动作的电路。

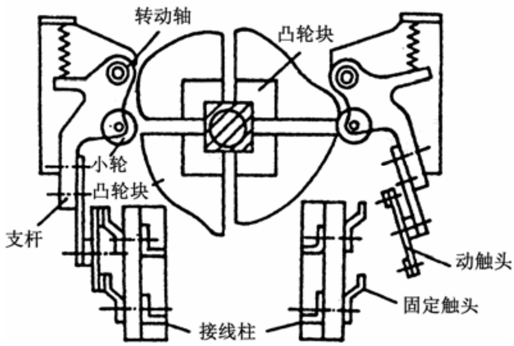


图 5.5　主令控制器结构示意图

主令控制器的图形符号同凸轮控制器。

目前生产和使用的主令控制器主要有 LK_{14}，LK_{15}，LK_{16} 型。其主要技术性能为：额定

电压为交流 380V 以下及直流 220V 以下；额定操作频率为 1 200 次/小时。

主令控制器应根据所需操作位置数、控制电路数、触点闭合顺序以及长期允许电流大小来选择。在起重机中，主令控制器是与磁力控制盘相配合来实现的，因此，往往根据磁力控制盘型号来选择主令控制器。

2．交流磁力控制盘

将控制用接触器、继电器、刀开关等电器元件按一定电路接线，组装在一块盘上，称为磁力控制盘。交流磁力控制盘按控制对象可分为平移机构控制盘与升降机构控制盘，前者为 PQY 系列，后者为 PQS 系列。

目前，各工矿企业仍大量使用旧型号的交流磁力控制盘。如平移机构 PQR9，PQR9A 等系列，升降机构 PQR10，PQR10A 等系列。本书以介绍 PQR10A 系列交流磁力控制盘为主。

3．主令控制器控制线路分析

磁力控制器由主令控制器与磁力控制盘组成。采用磁力控制器控制时，只有尺寸较小的主令控制器安装在驾驶室内，其余电气设备安装在桥架上的控制盘中。具有操作轻便、维修方便、工作可靠、调速性能好等优点；但所用电气设备多、投资大且线路较为复杂。所以，一般桥式起重机同时采用凸轮控制器与磁力控制器控制，前者用于平移机构与副钩提升机构，后者用于主钩提升机构。当对提升机构控制要求不高时，则全部采用凸轮控制系统。

图 5.6 所示为提升机构磁力控制器控制系统电路图。图中主令控制器 SA 有 12 对触点，“提升”、“下降”各有 6 个工作位置。通过这 12 对触点的闭合与断开，来控制电动机定子与转子电路的接触器，实现电动机工作状态的改变，进而拖动吊钩按不同速度提升与下降。由于主令控制器为手动操作，所以电动机工作状态的变换是由操作者来掌握的。KM$_1$，KM$_2$

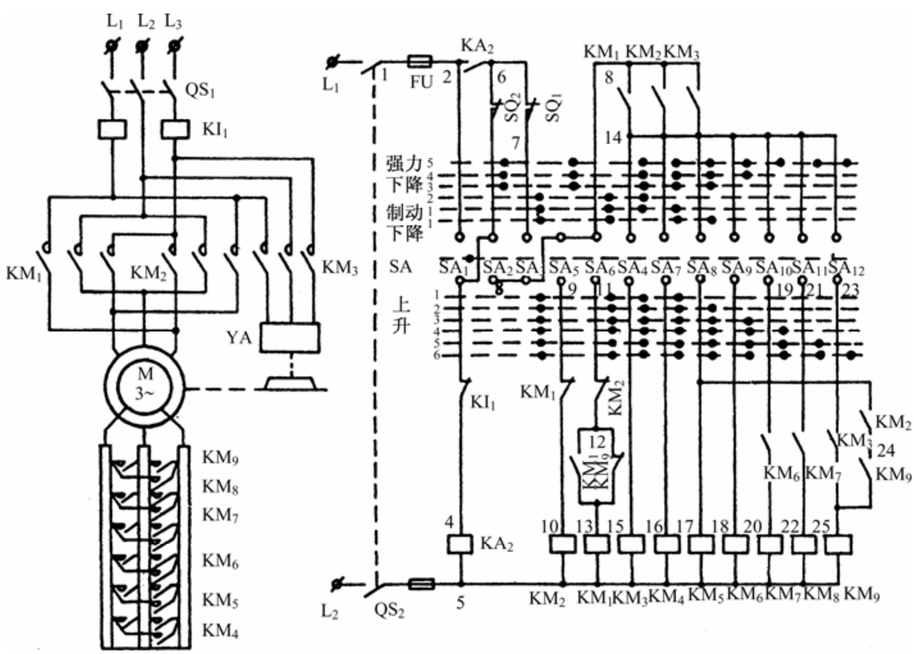


图 5.6　提升机构磁力控制器控制系统电路图

为电动机正反转接触器，KM_3 为制动接触器，控制三相交流电磁制动器 YA；KM_4～KM_9 为启动加速接触器，用来控制电动机转子电阻；最后转子中还有一段常串电阻，用来软化机械特性。

电路原理见起重机控制线路分析。

5.2.3　制动器与制动电磁铁

起重机械是一种间歇工作的设备，经常处在启动和制动状态，因此制动器在起重机中既是工作装置又是安全装置。对升降机械来说，在吊钩从轻载到满载甚至到允许其超载情况下，制动器应能保证重物稳定地停留在空间的任意高度上；对平移机械来说，制动器应能保证在任意速度下都能使运动部位可靠地停下来。

起重机上常用的制动器，有电磁铁式和液压式两种。电磁铁式制动器的结构及控制原理如图 5.7 所示。

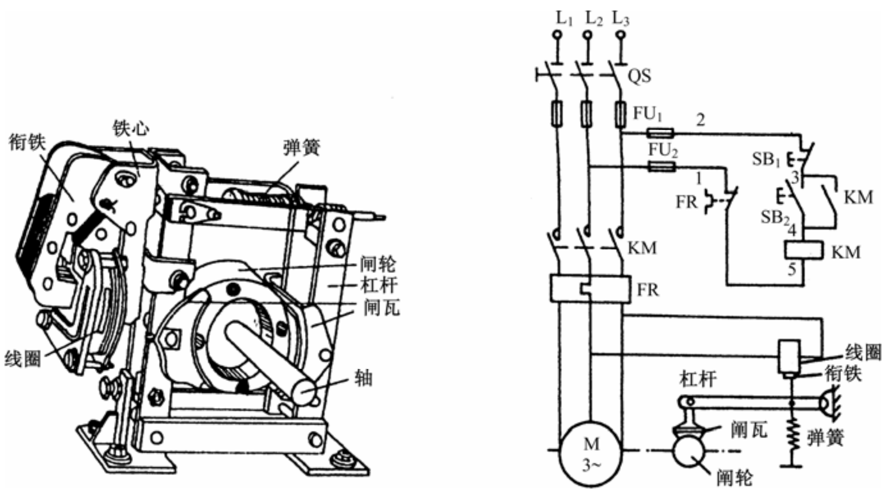


图 5.7　电磁铁式制动器及其控制电路

电磁铁式制动器由抱闸机构和电磁机构两部分合成。机械部分主要由闸瓦、闸轮、弹簧、杠杆等形成抱闸机构。电气部分则由线圈、铁心、衔铁等形成电磁机构。工作时电磁线圈与被控制电动机同时得电，衔铁吸合，克服弹簧的反作用力，带动杠杆动作，推动闸瓦松开闸轮，电动机拖动机构运行；当电动机切断电源时，制动器亦失电，衔铁释放，弹簧的反作用力使闸瓦抱紧闸轮，使电动机受到制动。

电磁机构有单相和三相两种，单相制动器是短行程的，其磁铁行程为 10mm～16mm，适用于直径为 100mm～300mm 的制动轮；三相制动器是长行程的，行程为 45mm，适用于制动轮的直径为 400mm～500mm。

液压推杆式制动器有两种：一种是 YWZ 型，用一台三相微电机带动；另一种是 YDWZ 型，用一个硅整流装置供电的直流电磁铁带动。它们都是失电时制动工作的。液压推杆式与电磁铁式制动器相比较，具有动作快、工作平稳，没有冲击，噪声小和省电等优点。

5.2.4　电气保护设备

起重机械在使用过程中对安全、可靠性提出了很高的要求。各种起重机械电气控制系统中均设置了完善的自动保护与联锁环节，主要有电动机的过电流保护、短路保护、控制器的零位保护、各运动方向的极限位置保护、舱门、端梁及栏杆门安全保护、紧急操作保护及必要的报警及指示信号等。目前，起重机的控制及保护设备已标准化并形成系列产品。常用的保护配电柜有 GQX6100 系列和 XQB1 系列等，主要根据被控电动机的数量及电动机的容量来选择。

如图 5.8 所示的 10，11 区为 15/3t 交流桥式起重机保护环节。图中 QS_1 为电源总开关，KI_0 为总过载保护用的过电流继电器，KI_1～KI_4 为各相应电动机过载保护用的过电流继电器；QS_4 为紧停开关，在特殊危急情况下切断 QS_4 则各电动机均立即停止；SQ_c，SQ_d，SQ_e 分别为驾驶舱门、顶盖出入口、桥架栏杆出入口等联锁开关；SA_{1-7}，SA_{2-7}，SA_{3-7} 分别为小车、提升机构、大车控制器的零位触点；SB 为控制按钮。以上几部分串联后共同控制接触器 KM 的吸合与释放，起到紧急保护、控制器零位保护、失压保护、安全门保护、过电流与短路保护等作用。

保护柜、凸轮控制器及主令控制器均安装在驾驶室内，便于司机操作。

起重机各移动部分均采用限位开关作为行程限位保护。SQ_a，SQ_b 分别为主、副钩上升限位开关；SQ_1，SQ_2 为小车横向限位开关；SQ_3，SQ_4 为大车纵向限位开关。当机构运行至某个极限位置时，相应的限位开关断开使 KM 断电，整个起重机停止工作。此后必须将控制器置于零位，重新按 SB 送电后，机构才可以向另一方向运行。

起重机设备上移动电动机和提升电动机均采用电磁铁抱闸制动。YA_1 为副钩制动电磁铁，YA_2 为小车制动电磁铁，YA_3，YA_4 为大车制动电磁铁，YA_5，YA_6 为主钩制动电磁铁，其中 YA_1～YA_4 为两相制动电磁铁，YA_5，YA_6 为三相制动电磁铁。当电动机通电时，电磁铁也获电并松开制动器，使电动机可以自由旋转。当电动机断电时，电磁铁也断电，电动机被制动器所制动。

起重机轨道及金属桥架应当进行可靠的接地保护。

5.3　桥式起重机控制电路分析

如图 5.8 所示，以 15/3t 交流桥式起重机为例分析。

桥式起重机的大车桥架跨度一般较大，两侧装置两个主动轮，分别由两台相同规格的电动机 M_3 和 M_4 拖动，沿大车轨道纵向两个方向同速运动。小车移动机构由一台电动机 M_2 拖动，沿固定在大车桥架上的小车轨道向两个方向运动。

主钩升降由一台电动机 M_5 拖动，副钩升降由一台电动机 M_1 拖动。

整机线路由主电路和控制电路两部分组成。控制电路又分为凸轮控制器控制和主令控制器控制两种形式。

电源总开关为 QS_1；凸轮控制器 SA_1，SA_2，SA_3 分别控制副钩电动机 M_1、小车电动机 M_2、大车电动机 M_3，M_4；主令控制器 SA_4 配合磁力控制屏 PQR 完成对主钩电动机 M_5 的控制。KM_1 为主钩下降接触器，KM_2 为主钩上升接触器，KM_3 为主钩制动接触器，KM_4～KM_9 为短接转子电阻接触器。

SA₁

	向下						向上				
	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5
V_3-$1M_3$							×	×	×	×	×
V_3-$1M_1$	×	×	×	×	×						
W_3-$1M_1$							×	×	×	×	×
W_3-$1M_3$	×	×	×	×	×						
$1R_5$	×	×	×	×				×	×	×	×
$1R_4$	×	×	×						×	×	×
$1R_3$	×	×								×	×
$1R_2$	×										×
$1R_1$	×										×
SA_{1-5}						×	×	×	×	×	×
SA_{1-6}	×	×	×	×	×	×					
SA_{1-7}						×					

（a）副钩凸轮控制器触头开合表

SA₂

	向左						向右				
	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5
V_4-$2M_3$							×	×	×	×	×
V_4-$2M_1$	×	×	×	×	×						
W_4-$2M_1$							×	×	×	×	×
W_4-$2M_3$											
$2R_5$	×	×	×	×				×	×	×	×
$2R_4$	×	×	×						×	×	×
$2R_3$	×	×								×	×
$2R_2$	×										×
$2R_1$	×										×
SA_{2-5}						×	×	×	×	×	×
SA_{2-6}	×	×	×	×	×	×					
SA_{2-7}						×					

（b）小车凸轮控制器触头开合表

SA₃

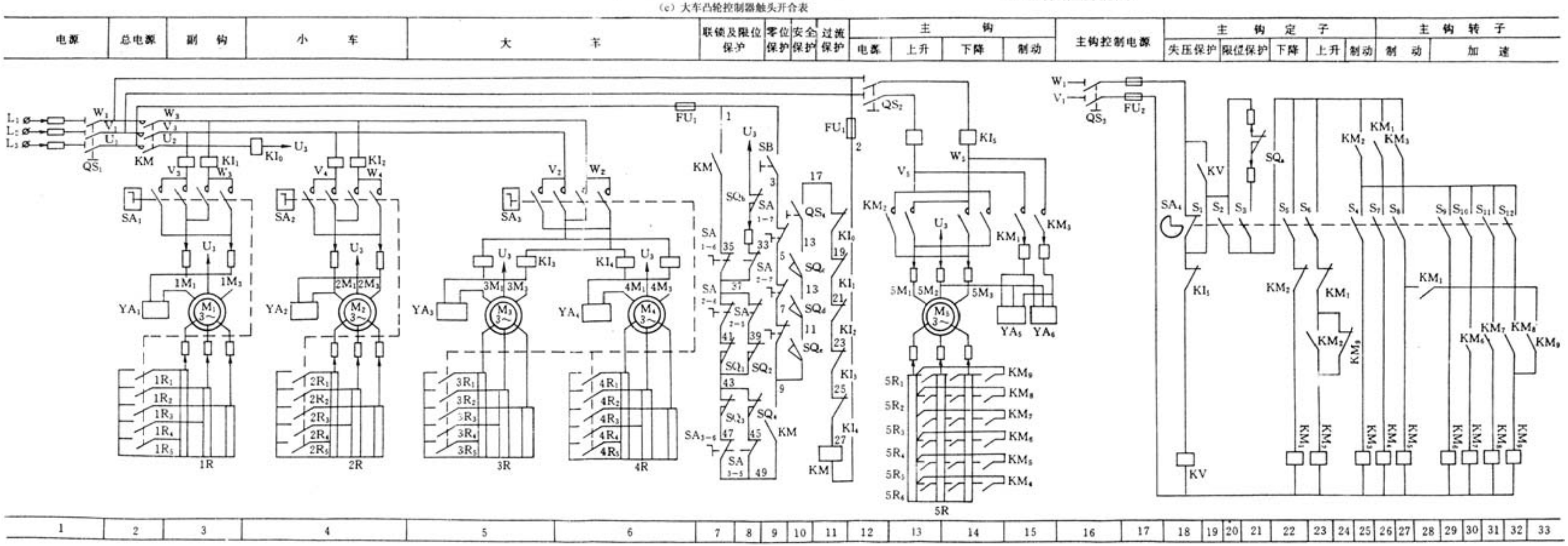
	向后						向前				
	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5
V_2-$3M_3$、$4M_1$							×	×	×	×	×
V_2-$3M_1$、$4M_3$	×	×	×	×	×						
W_2-$3M_1$、$4M_3$							×	×	×	×	×
W_2-$3M_3$、$4M_1$	×	×	×	×	×						
$3R_5$	×	×	×	×				×	×	×	×
$3R_4$	×	×	×						×	×	×
$3R_3$	×	×								×	×
$3R_2$	×										×
$3R_1$	×										×
$4R_5$	×	×	×	×				×	×	×	×
$4R_4$	\	\	×						×	×	×
$4R_3$	×	×								×	×
$4R_2$	×										×
$4R_1$	×										×
SA_{3-5}						×	×	×	×	×	×
SA_{3-6}	×	×	×	×	×	×					
SA_{3-7}						×					

（c）大车凸轮控制器触头开合表

SA₄

		下降							上升					
		强力			制动									
		5	4	3	2	1		0	1	2	3	4	5	6
	S_1							×						
	S_2	×	×	×										
	S_3				×	×	×		×	×	×	×	×	×
KM_3	S_4	×	×	×	×	×			×	×	×	×	×	×
KM_1	S_5	×	×	×										
KM_2	S_6				×	×	×		×	×	×	×	×	×
KM_4	S_7	×	×	×		×	×		×	×	×	×	×	×
KM_5	S_8	×	×				×			×	×	×	×	×
KM_6	S_9	×	×	×							×	×	×	×
KM_7	S_{10}	×										×	×	×
KM_8	S_{11}	×											×	×
KM_9	S_{12}	×	0	0										×

（d）主令控制器触头开合表



（e）电气控制电路

图 5.8　15/3t交流桥式起重机电气控制线路

5.3.1 主接触器的控制

1．准备阶段

在起重机投入运行前应当将所有凸轮控制器手柄置于“零位”，零位联锁触头 SA_{1-7}，SA_{2-7}，SA_{3-7}（9 区）处于闭合状态。合上紧急开关 QS_4，关好舱门和横梁栏杆门，使开关 SQ_c，SQ_d，SQ_e 也处于闭合状态（10 区）。

2．启动运行阶段

当操作人员按下保护控制柜上的启动按钮 SB（9 区），主接触器 KM 线圈即获电吸合（11 区），3 个常开主触头 KM 闭合（2 区），使两相电源（V_2，W_2）进入各凸轮控制器，一相电源（U_3）直接引入各电动机定子接线端。此时由于各凸轮控制器手柄均在零位，故电动机不会运转。同时，主接触器 KM 两副常开辅助触头 KM 闭合自锁（7 区与 9 区）。

5.3.2 凸轮控制器的控制

桥式起重机的大车、小车和副钩电动机容量较小，一般采用凸轮控制器控制。现以大车为例说明控制过程。由于大车为两台电动机同时拖动，故大车凸轮控制器 SA_3 比 SA_1 及 SA_2 多了 5 个转子电阻控制触头，以供切除第二台电动机的转子电阻用。由图 5.8 可以看出，大车凸轮控制器 SA_3 共有 11 个位置，中间位置是零位，右边 5 个位置，左边 5 个位置，控制电动机 M_3 和 M_4 的正反转（即大车的前进和后退）。4 个主触头控制电动机 M_3 和 M_4 的定子电源，并实现正反转换接（V_2-$3M_3$，$4M_1$；W_2-$3M_1$，$4M_3$；V_2-$3M_1$，$4M_3$；W_2-$3M_3$，$4M_1$）；10 个转子电阻控制触头分别切换电动机 M_3 和 M_4 的转子电阻 3R 和 4R。另有 3 个辅助触头为联锁触头，其中 SA_{3-5}，SA_{3-6} 为电动机正反转联锁触头，SA_{3-7} 可为零位联锁触头。

操作过程：合上电源总开关 QS_1，使主接触器 KM 线圈获电运行。

扳动凸轮控制器 SA_3 操作手柄向后位置 1，主触头 V_2-$3M_1$ 和 $4M_3$ 接通，W_2-$3M_3$ 和 $4M_1$ 接通；正反转联锁触头 SA_{3-6} 接通，SA_{3-5} 断开，SA_{3-7} 断开；电动机 M_3，M_4 接通三相电源；同时电磁铁 YA_3，YA_4 获电，使制动器放松。此时转子回路中串联着全部附加电阻，故电动机有较大的启动转矩、较小的启动电流，以最低速旋转，大车慢速向后运动。

扳动凸轮控制器 SA_3 操作手柄向后位置 2，转子电阻控制触头 $3R_5$，$4R_5$ 接通，电动机 M_3，M_4 转子回路中的附加电阻 3R，4R 各切除一段电阻，电动机转速略有升高。当手柄置于位置 3 时，控制触头 $3R_4$，$4R_4$ 接通，转子回路中的附加电阻又被切除一段，电动机转速进一步升高。这样凸轮控制器 SA_3 手柄从位置 2 循序转到位置 5 的过程中，控制触头依次闭合，转子电阻逐段切除，电动机转速逐渐升高，当电动机转子电阻全部切除时，转速达到最高。

当凸轮控制器 SA_3 操作手柄扳至向前时，通过主触头将电动机电源换相，主触头 V_2-$3M_3$ 和 $4M_1$ 接通，W_2-$3M_1$ 和 $4M_3$ 接通，电动机反方向旋转。另外，正、反转联锁触头 SA_{3-5} 接通，SA_{3-6} 断开，其他工作过程与向后完全一样。

由于断电或操作手柄扳至零位，电动机电源断电，电磁铁线圈断电，制动器将电动机制动。

小车和副钩的控制过程与大车相同。

用凸轮控制器控制时，电动机是处于转子电阻不对称切除的情况下工作的。

5.3.3　主令控制器的控制

主钩电动机是桥式起重机容量最大的一台电动机，一般采用主令控制器配合磁力控制屏进行控制，即用主令控制器控制接触器，再由接触器控制电动机。为提高主钩电动机运行的稳定性，在切除转子附加电阻时，采取三相平衡切除，使三相转子电流平衡。

主钩运行有升降两个方向，主钩上升控制与凸轮控制器的工作过程基本相似，区别在于它是通过接触器来控制的。

主钩下降时与凸轮控制器的动作过程有较明显的差异。首先是准备阶段：合上开关 QS_1（1 区），QS_2（12 区），QS_3（16 区）接通主电路和控制电路电源，主令控制器手柄置于零位，触头 S_1（18 区）处于闭合状态，电压继电器 KV（18 区）线圈获电动作，其常开触头 KV（19 区）闭合自锁，为主钩电动机 M_5 启动控制作好准备。主钩下降分 6 个挡位：“J”、“l”、“2”挡为制动下降位置，防止在重载下降时速度过快，电动机处于反接制动运行状态；“3”、“4”、“5”挡为强力下降位置，主要用于轻负载时快速强力下降。主令控制器在下降位置时，6 个挡次的工作情况如下。

1．手柄扳到制动下降位置“J”挡

主令控制器 SA_4 常闭触头 S_1（l8 区）断开，常开触头 S_3（21 区），S_6（23 区），S_7（26 区），S_8（27 区）闭合，接触器 KM_2 线圈（23 区）获电吸合，常开主触头 KM_2（13 区）闭合，电动机 M_5 定子绕组通入三相正相序电压，电动机 M_5 产生的电磁转矩为提升方向。另外，常开辅助触头 KM_2（23 区）闭合自锁，常闭辅助触头 KM_2（22 区）断开联锁，常开辅助触头 KM_2（25 区）闭合，为制动电磁铁 YA_5 线圈获电准备；接触器 KM_4（26 区），KM_5（7 区）线圈获电吸合，常开触头 KM_4，KM_5（13，14 区）闭合，转子电阻 $5R_6$，$5R_5$ 被切除，转子回路中接入 4 段电阻。此时，尽管电动机 M_5 已接通电源，但由于主令控制器的常开触头 S_4（25 区）未闭合，接触器 KM_3（23 区）线圈不能获电，故制动电磁铁 YA_5 线圈也不能获电，制动器未释放，电动机 M_5 仍处于抱闸制动状态，迫使电动机 M_5 不能启动旋转。

这种操作常用于主钩上吊有很重的货物或工件，停留在空中或在空间移动时，因负载很重，防止抱闸制动失灵或打滑，所以使电动机产生一个向上的提升力，协助抱闸制动克服重负载所产生的下降力，以减轻抱闸制动的负担，保证运行安全。

2．手柄扳到制动下降位置“1”挡

当主令控制器手柄扳至“1”挡时，除“J”挡时的 S_3，S_6，S_7 仍闭合，接触器 KM_2，KM_4 线圈仍获电吸合外，另有常开触头 S_4（25 区）闭合，接触器 KM_3 线圈获电吸合，常开主触头 KM_3（I_5 区）闭合，电磁铁 YA_5，YA_6（15 区）线圈获电动作，电磁抱闸制动放松，电动机 M_5 得以旋转。常开触头 KM_3（27 区）闭合自锁，并与常开辅助触头 KM_1，KM_2（26，25 区）并联，主要保证电动机 M_5 正反转切换过程中电磁铁 YA_5 有电，处于非制动状态，这样就不会产生机械冲击。

由于触头 S_8 的分断，接触器 KM_5 线圈断电释放，此时仅切除一段转子电阻 $5R_6$，使电

动机 M_5 产生的提升方向的电磁转矩减小。若此时负载足够大，则在负载重力作用下电动机反向（下降方向）旋转，电磁转矩成为反接制动力矩，迫使重负载低速下降。

3．手柄扳到制动下降位置“2”挡

此挡主令控制器触头 S_3，S_4，S_6 仍闭合，触头 S_7 分断，接触器 KM_4 线圈断电释放，附加电阻全部接入转子回路，使电动机向提升方向的电磁转矩又减小，重负载下降速度比“1”挡时加快。这样，操作者可根据重负载情况及下降速度要求，适当选择“1”挡或“2”挡作为重负载合适的下降速度。

4．手柄扳到强力下降位置“3”挡

此挡主令控制器触头 S_3 分断 S2（20 区）闭合，因为“3”挡为强力下降故上升限位开关 SQ_a（21 区）失去保护作用，控制电源通路改由触头 S_2 控制。触头 S_6 分断，上升接触器 KM_2 线圈断电释放。触头 S_4，S_5，S_7，S_8 闭合，接触器 KM_1（22 区）线圈获电吸合，电动机电源相序切换反向旋转（向下降方向），常开辅助触头 KM_1（26 区）闭合自锁，常闭辅助触头 KM_1（23 区）断开联锁。同时接触器 KM_4，KM_5 线圈获电吸合，转子附加电阻 $5R_6$，$5R_5$ 被切除，这时轻负载便在电动机下降转矩作用下强制下落，又称强力下降。

5．手柄扳到强力下降位置“4”挡

凸轮控制器的触头 S_2，S_4，S_5，S_7，S_8，S_9 闭合，接触器 KM_6（29 区）线圈获电吸合，转子附加电阻 $5R_4$ 被切除，电动机转速进一步增加，轻负载下降速度变快。另外，常开辅助触头 KM_6（30 区）闭合，为接触器 KM_7 线圈获电准备。

6．手柄扳到强力下降位置“5”挡

此挡凸轮控制器触头 S_2～S_{12} 全闭合，接触器 KM_7～KM_9 线圈依次获电吸合，转子附加电阻 $5R_3$，$5R_2$，$5R_1$ 依次逐级切除，这样可以防止过大的冲击电流，同时使电动机旋转速度逐渐增加。待转子附加电阻全部被切除后，电动机以最高转速运行，负载下降速度也最快。此挡若负载重力作用较大使实际下降速度超过电动机同步转速时，由电动机运行特性可知，电磁转矩由驱动转矩转变为制动转矩，即发电制动，能起到一定的制动下降作用，保证下降速度不至于太高。

桥式起重机在实际运行中，操作人员要根据具体情况选择不同的运行位置和挡位。比如主令控制器手柄在强力下降位置“5”挡时，因负载重力作用太大使下降速度过快，虽有发电制动控制，但高速下降仍很危险。此时，就需要把主令控制器手柄扳回到制动下降位置“2”或“1”挡，进行反接制动控制下降速度。为了避免在转换过程中可能发生过高的下降速度，在接触器 KM_9 电路中常用辅助常开触头 KM_9（33 区）自锁。同时，为了不影响提升的调速，在该支路中再串联一个常开辅助触头 KM_1（28 区）。这样可以保证主令控制器手柄由强力下降位置向制动下降位置转换时，接触器 KM_9 线圈始终有电，只有手柄扳至制动下降位置后，接触器 KM_9 线圈才断电，在图 5.8（d）所示主令控制器 SA_4 触头开合表中可以看到，强力下降位置“4”、“3”挡上有“0”的符号便是这个意义。表示当手柄由“5”挡向零位回转时，触头 S_{12} 接通。否则，如果没有以上联锁装置，在手柄由强力下降位置向制动下降位置转换时，若操作人员不小心，误把手柄停在了“4”或“3”挡上，那么正在高速下

降的负载速度不但不会得到控制，反而使下降速度更为增加，可能造成恶性事故。

另外，串接在接触器 KM_2 支路中的常开触头 KM_2（23 区）与常闭触头 KM_9（24 区）并联。当接触器 KM_1 线圈断电释放后，只有在接触器 KM_9 线圈断电释放的情况下，接触器 KM_2 线圈才允许获电并自锁，这就保证了只有在转子电路中保持一定的附加电阻前提下，才能进行反接制动，以防止反接制动时造成直接启动而产生过大的冲击电流。

表 5.1 所示为 15/3t 桥式起重机主要电器元件明细表。

表 5.1　15/3t 桥式起重机主要电器元件明细表

序号	符　　号	名　　称	型号及规格	数量	用　　途
1	M_1	副钩电动机	JZR41-8　11kW　715r/min	1	驱动副钩
2	M_2	小车电动机	JZR12-6　3.5kW　910r/min	1	驱动小车
3	M_3，M_4	大车电动机	JZR22-6　7.5kW　945r/min	2	驱动大车
4	M_5	主钩电动机	JZR63-10　60kW　581r/min	1	驱动主钩
5	SA_1	副钩凸轮控制器	KTJ1-50/1	1	控制副钩电动机
6	SA_2	小车凸轮控制器	KTJ1-50/1	1	控制小车电动机
7	SA_3	大车凸轮控制器	KTJ1-50/5	1	控制大车电动机
8	SA_4	主钩主令控制器	LK1-12/90	1	控制主钩电动机
9	YA_1	副钩制动电磁铁	MZD1-300	1	制动副钩
10	YA_2	小车制动电磁铁	MZD1-100	1	制动小车
11	YA_3，YA_4	大车制动电磁铁	MZD1-200	2	制动大车
12	YA_5，YA_6	主钩制动电磁铁	MZS1-45H	2	制动主钩
13	1R	副钩电阻器	2K1-41-8/2	1	副钩电动机启动调速
14	2R	小车电阻器	2K1-12-6/1	1	小车电动机启动调速
15	3R，4R	大车电阻器	4K1-22-0/1	2	大车电动机启动调速
16	5R	主钩电阻器	4P5-63-10/9	1	主钩电动机启动调速
17	QS_1	总电源开关	HD-9-400/3	1	接通总电源
18	QS_2	主钩电源开关	HD11-200/2	1	接通主钩电机电源
19	QS_3	主钩电源开关	DZ5-50	1	接通主钩电机控制电源
20	QS_4	紧急开关	A-3161	1	发生紧急情况时断开
21	SB	启动按钮	LA19-11	1	启动主接触器
22	KM	主接触器	CJ2-400/3	1	接通大、小车、副钩电源
23	KA_0	总过电流继电器	JL4-150/1	1	总过流保护
24	KA_1～KA_4	副钩、大、小车过电流继电器	JL4-40	4	过流保护
25	KA_5	主钩过电流继电器	JL4-150	1	过流保护
26	FU_1～FU_2	控制、保护电源熔断器	RL1-15	4	短路保护
27	KM_1	主钩下降接触器	CJ2-250	1	控制主钩电机旋转
28	KM_2	主钩上升接触器	CJ2-250	1	控制主钩电机旋转
29	KM_3	主钩制动接触器	CJ20-63	1	控制主钩制动电磁铁
30	KM_6～KM_9	主钩加速级接触器	CJ20-63	4	控制主钩转子附加电阻
31	KV	欠电压继电器	JT4-10P	1	欠压保护
32	SQ_a	主钩上升限位开关	JLXK1-311	1	限位保护
33	SQ_b	副钩上升限位开关	JLXK1-311	1	限位保护
34	SQ_1～SQ_4	大、小车限位开关	JLXK1-311	4	限位保护
35	SQ_c	舱口安全开关	JLXK1-311	1	舱口开关
36	SQ_d、SQ_e	横梁栏杆安全开关	JLXK1-311	2	横梁栏杆门安全
37	KM_4～KM_5	主钩预备级接触器	CJ20-63	2	控制主钩转子附加电阻

5.3.4　电气线路常见故障分析

因为桥式起重机的工作环境比较恶劣，某些主要电器设备和元件的密封条件很困难，同时工作频繁、结构复杂，维修很不方便。今将常见故障现象及原因分述如下。

（1）合上空气开关 QS_1 并按启动按扭 SB 后，主接触器 KM 不吸合。原因：线路无电压；熔断器 FU_1 熔断；紧急开关 QS_4 或安全开关 SQ_c，SQ_d，SQ_e 未合上；主接触器 KM 线圈断路；各凸轮控制器手柄没在零位，则 SA_{1-7}，SA_{2-7}，SA_{3-7} 触头分断；过电流继电器 KI_0～KI_4 动作后未复位。

（2）主接触器 KM 吸合后，过电流继电器 KI_0～KI_4 立即动作。原因：凸轮控制器 SA_1～SA_3 电路接地；电动机 M_1～M_4 绕组接地；电磁铁 YA_1～YA_4 线圈接地。

（3）当电源接通扳动凸轮控制器手柄后，电动机不转动。原因：凸轮控制器主触头接触不良；滑触线与集电刷接触不良；电动机定子绕组或转子绕组断路；电磁铁线圈断路或制动器未放松。

（4）扳动凸轮控制器后，电动机启动运转，但不能输出额定功率且转速明显减慢。原因：线路压降太大；制动器未全部松开；转子电路中的附加电阻未全部切除。

（5）凸轮控制器扳动过程中卡阻或扳不到位。原因：凸轮控制器动触头卡在静触头下面；定位机构松动。

（6）凸轮控制器扳动过程中火花过大。原因：动、静触头接触不良；控制容量过载。

（7）制动电磁铁线圈过热。原因：电磁铁线圈电压与线路电压不符；电磁铁的牵引力过载；电磁铁吸合后，动、静铁心间的间隙过大；制动器的工作条件与电磁铁线圈特性不符；电磁铁铁心歪斜或卡阻。

（8）电磁铁噪声大。原因：交流电磁铁短路环开路；电磁铁过载；动、静铁心端面有油污；磁路弯曲。

（9）主钩既不能上升又不能下降。原因：如欠电压继电器 KV 不吸合，可能是 KV 线圈断路，过电流继电器 KI_5 未复位，主令控制器 SA_4 零位联锁触头未闭合，熔断器 FU_2 熔断；如欠电压继电器吸合，则可能是自锁触头未接通；主令控制器的触头 S_2，S_3，S_4，S_5 或 S_6 接触不良，电磁铁线圈开路未松闸。

【内容检核】

本章的内容是在掌握控制电器及电气控制基本环节的基础上，通过起重机生产机械电气控制线路的分析，进一步说明电气控制系统分析的方法和具体步骤。在进行分析时，首先必须对生产设备的基本结构、传动方式、运动形式、操纵方法、电机电器元件的配置情况，机械、液压系统与电气控制的关系等方面有一个全面了解。在此基础上，以电气原理图为中心，并结合其他电气技术资料进行系统分析。

（1）起重机是起重运输设备，其工作类型为重复短时工作制，在运行中要求实现调速及准确停车；要求运行安全，有各种电气保护与机械安全保护环节与装置。因此其拖动电动机为起重专用电动机。电气控制电路能够实现电动机调速，并使电动机运行在不同状态，以获得不同运行速度或转为低速，以获得准确停车。

（2）起重机为大型设备，各控制元件分布在各处，要在深入理解电气控制原理基础上，进一步搞清各元件的安装位置，并通过参观、实习加深对其电气控制的理解并提高检修

能力。

（3）电气控制特点如下。

① 大车、小车、副钩拖动电机容量小，采用凸轮控制器控制；主钩拖动电机容量大，采用主令控制器控制，且调速范围广。

② 移动机构采用滑线和电刷供电。

③ 起重机为重载重复短时工作制，故采用过电流继电器作过载保护。

④ 专用起重电动机拖动。

⑤ 采用电气和电磁抱闸双重制动。

⑥ 有零位、限位等联锁保护。



思考与练习

1．在电气系统分析中，主要涉及哪些资料和技术文件？各有什么用途？

2．桥式起重机具有哪些控制特点？

3．起重机上采用了各种电气制动，为何还必须设有机械制动？

4．桥式起重机具有哪些电气保护环节？

5．起重机上电动机为何不采用熔断器和热继电器作过载保护？

6．起重机上电动机的控制有几种方式？其主要区别是什么？各用在哪些场合？

7．对于图 5.4 起重机控制电路，主令控制器在操作时应注意什么问题？

8．当吊车正在起吊，大车向前，小车向左运动时，当小车碰撞终端开关时，将会影响哪些运动？要想将小车退出终端开关，应如何操作？

技能训练 5.1　凸轮控制器控制系统调试

【训练要求】

① 了解凸轮控制器的结构与工作原理。

② 学会看凸轮控制器工作图和了解其线路连接特点。

③ 观察凸轮控制器控制绕线式异步电动机转子串电阻启动的限流作用和调速作用。

【训练工具】

三相绕线式异步电动机、凸轮控制器电气控制模拟板（或用交流接触器、双联按钮、行程开关、平开关、电流继电器等器件制作）、启动调速电阻、转速表、交流电流表、万用表、电动机 M 的负载（可拖动直流发电机或其他负载）、电工工具及导线。

【训练步骤】

① 搞清凸轮控制器、启动调速电阻、绕线式转子异步电动机的结构及接线方法。

② 根据原理图查对各元件的安装位置（参考图 5.9 所示）。

③ 详细查对各电器触点连线，并将各电器元件置为零位状态。

④ 连接电源进线和到各电机的连线。

⑤ 接通电源进行整机正常运行操作。

a）将凸轮控制器调回到零位，打开闸刀开关，分别将凸轮控制器手柄置于不同位置，

直接启动电动机，观察电机启动情况，并测量各挡次时的启动电流。

b）电动机正常工作时分别操纵各保护开关，分析其保护作用。

⑥ 查找与排除故障。

a）断开电源，由指导教师制造人为故障点 3～5 处。

b）接通电源，按正常状态下操作凸轮控制电器，观察不正常故障现象并记录下来，再进行检查、排除。

c）排除故障后，从新接通电源，按正常运行要求再操作一遍，经指导教师检查动作正常后，断开电源，拆下自己所联导线，并检查电器设备、导线及工具等。

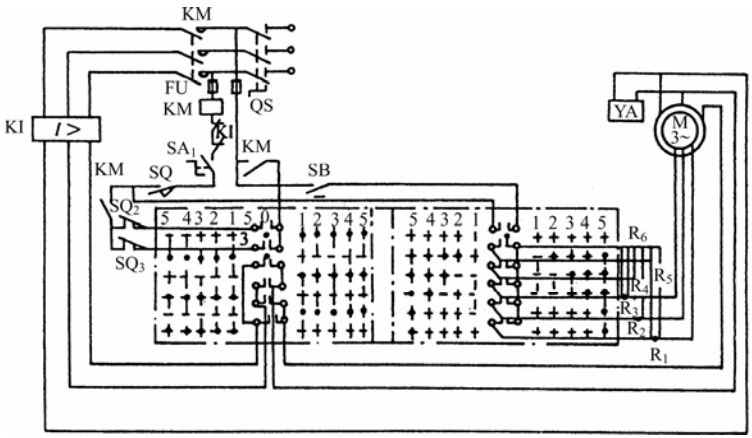


图 5.9 凸轮控制器控制线路

技能训练 5.2 低压电器控制设计

【训练要求】

① 掌握电气控制的设计方法、安装过程、资料整理和电气绘图软件的使用方法。

② 培养从事设计工作的整体观念及工程应用能力，增强工作适应能力。

③ 根据工艺要求设计电气控制线路，计算并选择电器元件。尽可能有创新设计，选用较为先进的电气元件。

④ 严格按照国家电气制图标准绘制相关图纸。选用合适的电气 CAD 制图软件，制作电气设备的成套图纸与文件，以满足现代化电气工程的需要。

⑤ 按照电控柜的尺寸，布置并安装电器元件与控制线路。

⑥ 进行电气控制线路的通电调试，排除故障，完成设计任务。

【训练步骤】

① 根据设计内容制订工作进度计划，确定人员分工，明确各阶段各人应完成的工作，妥善安排时间。

② 根据设计任务书分析所要设计的电气设备的工艺要求，寻求最佳设计方案。

③ 设计电气控制线路，尽可能有所创新，选用最新最先进的电气元件，不必拘泥于一般设计原则。按国家电气制图标准绘制电气原理图，同时学习一种电气 CAD 软件的使用。

④ 计算并选择电器元件的规格和数量，列出元件明细表的电器元件部分。

⑤ 根据设计方案采购电器元件，并根据市场行情及时调整元器件型号。在满足设计要求前提下，兼顾设计方案的可行性。

⑥ 绘制电器板元件布置图、电器板接线图，控制面板布置图、控制面板接线图，互连接线图。

⑦ 按照电控柜的尺寸，布置、安装电器元件，连接控制线路。列出元件明细表的电控柜安装元器件部分。同时用电气 CAD 软件制作电气设备的成套图纸与文件，随时注意将结果保存到软盘上。设计方案通过调试验收后再打印出来。

⑧ 通电前必须进行安全检查和电气控制线路检查。

⑨ 通电调试控制线路，依次排除设计方案、接线中的错误和电器元件故障。

⑩ 整理设计文件、图纸、资料，写出课程设计报告。

⑪ 总结设计过程中的问题。

第 6 章　电梯的电气控制

学习目标

◆　知识目标　了解电梯的分类、特点及电气系统安全保护系统；掌握电梯的基本结构、电气控制系统中的主要控制电路分析。

◆　能力目标　能对电梯电气出现的常见故障进行分析与排除。

重点和难点

◆　电梯的控制系统主要控制电路分析；电梯电气部分常见故障的分析与排除。

电梯是集机械原理应用、电气控制技术、微处理器技术、系统工程学、人体工程学及空气动力学等多学科和技术分支于一体的机电设备。它是采用电力拖动方式，将载有乘客或货物的轿厢运行于垂直方向两根刚性导轨之间的一种永久性垂直交通工具。

6.1　电梯概述

6.1.1　电梯的基本结构

电梯一般由机房、轿厢、厅门及井道和井底设备等 4 个基本部分组成，如图 6.1 所示。

1．机房

机房位于电梯井道的最上方或最下方，用于装设曳引机、控制柜、限速器、选层器、地震检测仪、配线板、总电源开关及通风设备等。

当机房设在井道底部时，称为下置式曳引方式。由于此种方式结构复杂，钢丝绳弯折次数较多，缩短了钢丝绳的使用期限，增加了井道承重，且保养困难，所以一般不采用，只有机房不可能设在井道顶部时才采用。相反，机房上置曳引方式因设备简单，钢丝绳弯折次数少、成本低、维护简单等特点，采用最为普遍。如果机房既不可能设置在底部，也不可能设置在顶部时，可考虑选用液压式电梯，即机房侧置式。

（1）曳引机。曳引机是电梯升降的动力源，由曳引电动机、电磁制动器、减速器、曳引轮和盘车手轮等组成，通过曳引绳与曳引绳轮的摩擦产生的牵引力来实现轿厢和平衡对重升降驱动装置。

（2）控制柜。控制柜能发出指令，检测各机器原动作情况，并且有控制功能，从而使电梯能安全、稳妥、快速到达目的层。该装置由主电路接触器、管理继电器、控制继电器、时限继电器、半导体器件等装配而成。因为是精密设备，所以要防尘，并保持良好的通风，

以维持规定电温度。

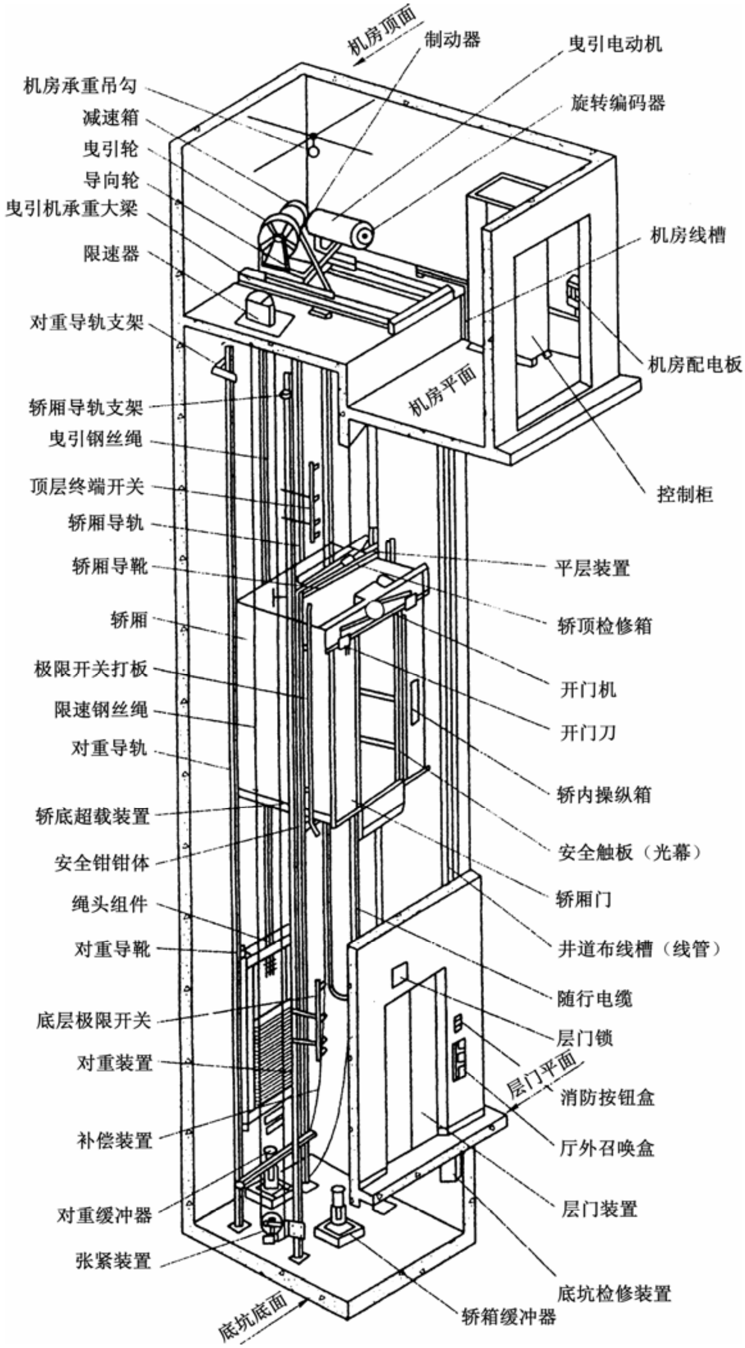


图 6.1　电梯的整体结构

（3）限速器。限速器为电梯限速保护装置，是重要的安全设备。当电梯超过额定速度或失控时（为额定速度的 115%），限速器能发出电信号，自动切断控制电路。如果轿厢仍然继续高速下行，此时限速器则以机械方式操纵安全钳动作，将轿厢夹持在导轨上，阻止其继续下降，避免产生不良后果。

2．轿厢与对重

（1）轿厢，是用来安全运送乘客及物品到目的层的箱体装置，它的运行轨迹是在曳引钢线绳的牵引下沿导轨上下运行。

（2）对重，又称平衡重，起到平衡轿厢的作用（但这种平衡是相对的和变化的）。对重与轿厢通过曳引钢线绳与曳引轮槽之间的摩擦力驱动轿厢的上升和下降。

3．厅门（层门）

厅门是为确保在候梯厅的乘客安全而设置的开闭装置，只有在轿厢停层和平层时才被打开。

4．井道与井底设备

（1）曳引钢丝绳，用于连接轿厢与对重，驱动轿厢上下运行。

（2）导轨，是使轿厢和平衡对重在井道内垂直升降的导向装置。

（3）限速钢丝绳、张紧装置，此装置用以防止限速钢丝绳的松弛或摇动，把轿厢速度正确地传送到限速器的辅助装置。

（4）补偿链，由于轿厢升降，轿厢侧与对重侧的曳引钢丝绳重量比随之变化。为了修正这个变化，减轻曳引电动机负载，将轿厢与对重用补偿链连接起来，一般用于提升高度超过30m的电梯。

（5）终端保护装置，由终端电气保护装置和机械缓冲装置两部分组成，终端电气保护装置由换速开关、限位开关和极限开关组成。机械缓冲装置是指位于底坑的各种缓冲器，它们是电梯安全保护的最后一道措施，设置在井道底坑中且正对轿厢和对重，其作用是防止轿厢和对重冲顶撞底。

6.1.2 电梯的分类

电梯可以按用途、驱动方式、提升速度、曳引电动机、操纵方式、有无蜗轮减速器或机房位置等进行分类。

1．按用途分类

（1）乘客电梯：为运送乘客而设计的电梯，有完善的安全装置，一般装饰豪华。

（2）载货电梯：通常有人伴随，主要是为运送货物而设计的电梯。

（3）客货（两用）电梯：以运送乘客为主，但也可运送货物的电梯。

（4）住宅电梯：为供住宅使用而设计的电梯。

（5）杂物电梯：只运送物品，不允许人员进入的电梯。

（6）船用电梯：供船舶上安装使用的电梯。

（7）汽车用电梯：垂直运输汽车的电梯。

（8）观光电梯：供乘客观光的轿厢壁透明的电梯。

（9）病床电梯：为医院运送病床而设计的电梯。

（10）其他电梯：包括冷库电梯、建筑电梯、矿井电梯等。

2．按拖动方式分类

（1）交流电梯：交流电动机拖动的电梯。
（2）直流电梯：直流电动机拖动的电梯。
（3）液压电梯：靠液压传动的电梯。
（4）齿轮齿条式电梯：靠齿轮齿条传动的电梯。

3．按电梯速度分类

（1）低速电梯：速度为 1m/s 及以下的电梯。
（2）快速电梯：速度大于 1m/s 而小于 2m/s 的电梯。
（3）高速电梯：速度在 2m/s～3m/s 的电梯。
（4）超高速电梯：速度超过 3m/s 的电梯。

4．按控制方式分类

（1）手柄开关控制电梯：由司机用手柄操纵电梯的启动、运行和平层进行控制的电梯。
（2）按钮控制电梯：具有简单自动控制方式的电梯，具有自动平层功能。
（3）信号控制电梯：自动控制程度较高的有司机电梯。
（4）集选控制电梯：有司机或无司机操纵的电梯。
（5）并联控制电梯：2 或 3 台电梯的厅外召唤信号并联共用，电梯具有集选功能。
（6）梯群控制电梯：多台电梯集中排列，共用厅外召唤按钮，按规定程序和客流量的变化由电脑集中调度和控制电梯。

5．按有无减速装置分类

（1）无齿轮电梯：曳引机由曳引轮和制动轮组成，由电动机直接连接，用于高速电梯。
（2）有齿轮电梯：曳引机由曳引轮、减速箱和制动轮组成，通过齿轮减速箱与电动机连接，用于低速和快速电梯。

6．按操作方式分类

（1）无司机电梯。
（2）有司机电梯。

7．按驱动方式分类

（1）液压式电梯。
（2）曳引式电梯。
（3）螺旋式电梯。
（4）爬轮式电梯。

8．按有无机房分类

（1）有机房电梯。
（2）无机房电梯。

6.2　交流双速电梯

目前使用的电梯中最常见的是交流双速电梯，它多采用接触继电器控制方式，因其使用电器多，所需机房面积较大，运行故障率较高而被 PLC 控制方式所取代。基于目前运行的交流双速电梯中继电接触器控制方式电梯仍不少，且可为理解 PLC 控制的交流双速电梯打下基础，所以本节选择五层站 KTJ—□□/10－XH 型交流双速电梯为例来分析其电气控制。

6.2.1　交流双速电梯的特点

（1）有专职司机。

（2）到达预定停靠的层站时，提前自动减速，平层时自动停靠开门。

（3）自动开、关门。

（4）到达上下端站时，提前自动强迫电梯减速，平层时自动停靠开门。

（5）厅外有运行召唤装置，召唤时厅外有记忆指示灯，轿内有音响信号和指示灯。

（6）厅外有电梯运行方向、电梯所在层楼位置指示。

（7）自动平层。

（8）召唤要求执行完毕，自动清除轿内、厅外召唤记忆指示信号。

（9）司机可接受多位乘客要求做指令登记，然后通过点按启动或关门启动按钮启动电梯，直到完成运行方向的最后一个内、外指令为止。若相反方向有内、外指令，电梯自动换向，点按启动或关门启动按钮后启动运行。运行前方出现顺向召唤信号时，电梯能到达顺向召唤层站自动停靠开门。司机还可通过直驶按钮使电梯直驶。

6.2.2　主电路分析

五层站交流双速电梯有两台电动机，一台是主拖动电动机 M，另一台是开关门电动机 MD。前者是 YTD 系列电梯专用型交流双速笼型异步电动机，其定子绕组极对数分别为 6/24 极，同步转速分别为 1 000r/min 与 250r/min。开关门电动机额定功率为 120W，额定电压为 110V，额定转速为 1 000r/min 的直流并励电动机。其主电路如图 6.2 所示。

1．主拖动电动机M的主电路分析

图 6.2 中，M 为交流双速异步电动机，KM_1，KM_2 分别为上升、下降接触器，用来控制 M 电动机的正、反转，实现轿厢的上升与下降；KM_3，KM_4 分别为电梯高、低速运行接触器；KM_5 为启动加速接触器；KM_6，KM_7，KM_8 为制动减速接触器，用以调整电梯制动时的加速度；X_1，X_2 与 R_1，R_2 分别为串入电动机定子电路中的电抗与电阻，与 KM_5～KM_8 配合实现对电动机的加减速控制。

当 KM_1 或 KM_2 与 KM_3 通电吸合时，电梯将进行上行或下行启动，延时后 KM_5 通电吸合，切除 R_1 与 X_1，电梯将转为上行或下行的稳速运行；当电梯接收到停层指令后，KM_3 断电释放，KM_4 通电吸合，电机转为低速接法，串入 X_2 和 R_2 制动，实现上升与下降的低速运行，且 KM_6～KM_8 依次通电吸合，分级将阻抗短接，用来控制制动过程的强度，提高停车

制动的舒适感；至轿厢平层位置时，接触器全部断电释放，电磁拖闸抱住制动轮，电梯停止运行。

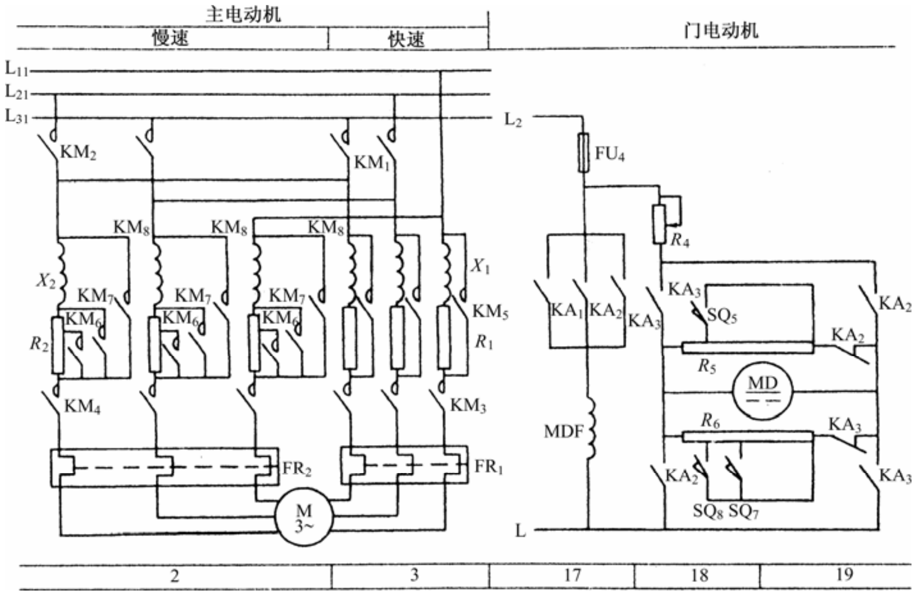


图 6.2　交流双速电梯主电路图

在检修状态时，电梯只能在低速接法下点动运行。

2．开关门电动机MD的主电路分析

在图 6.2 中，MD 是一台直流并励电动机，MDF 为其励磁绕组。改变电枢电压的极性可改变 MD 的旋转方向，经开关门机构实现轿门与厅门的开启与关闭。图中 KA_3 为正转开门继电器，KA_2 为转关门继电器。改变电枢绕组串并联电阻可实现对电动机 MD 的速度调节。R_4 为电枢串联电阻，R_5，R_6 分别为开门与关门的电枢并联电阻，分别由行程开关 SQ_5 与 SQ_7，SQ_8 控制，从而实现开门与关门时的速度调节。调节串联电阻 R_4 可调节开、关门速度，R_4 调大，开关门速度变小；调节位于轿厢顶上和行程 SQ_5 与 SQ_7，SQ_8 的安装位置可进一步单独改变开门与关门减速的位置，因为 SQ_5 与 SQ_7，SQ_8 开关分别是由轿门开启与关闭过程中碰压才动作的。

开关门电动机经开关门机构来拖动轿门的开启与关闭，而厅门又是由轿门通过轿门上的机构来带动的，所以厅门与轿门的开闭是同步进行的。

6.2.3　控制电路的分析

控制电路的分析按电梯停在基站，司机已关闭电梯下班。司机次日来上班，启用电梯、司机进入轿厢、乘客进入轿厢要求在三层停靠、自动关门和开门、启动、加速和满速运行、抵达三层制动减速和平层停车、自动开门、电梯再次启动运行的顺序进行。

1．电梯的启用与停用

只有电梯停在基站时，才可以对电梯作停用或启用的操作。司机在上次下班时，将电梯开至基站，于是将井道内的厅外开门行程开关 SQ_4 压下，断开层楼与运行方向指示灯开关

SA_4，安全开关 SA_2 扳至右边位置，走出轿厢，在厅外再用钥匙将开关 SA_1 转向左边，使关门继电器 KA_2 通电吸合，门电机 MD 启动旋转，将电梯门关闭。如图 6.3 所示为电梯开关门电路。

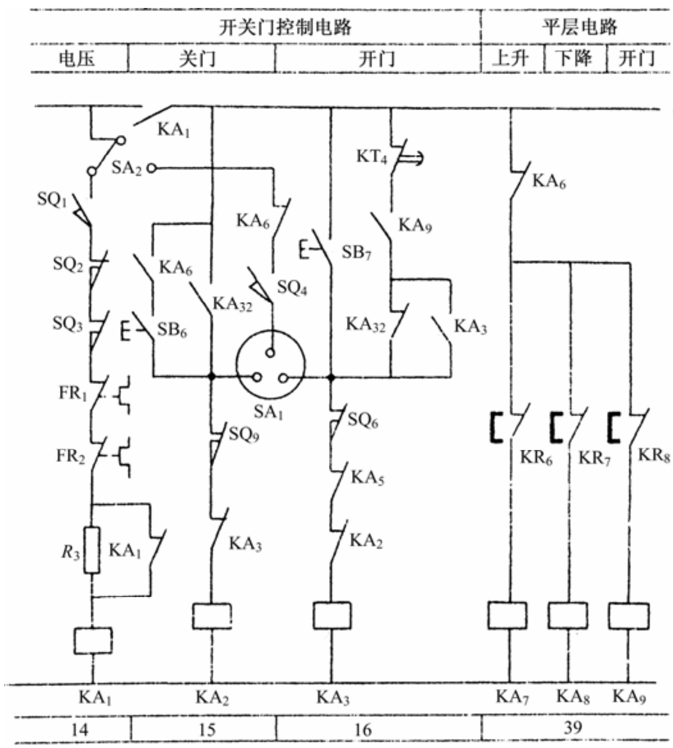
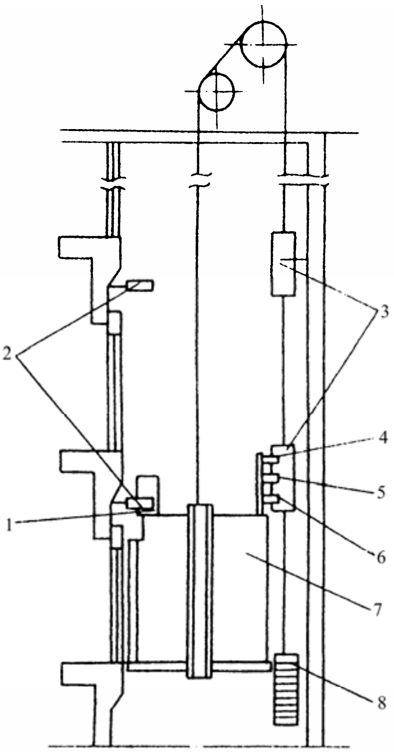


图 6.3　电梯开关门电路

在每一层楼上方装有楼层感应器，KR_1～KR_5 为 1～5 层靠近厅门上方安装的楼层干簧感应器，由安装于轿厢顶部靠近轿门侧的停层隔磁铁板控制。在轿厢顶部距轿门的另一侧垂直安装了 3 个干簧感应器，从上至下分别为平层感应器 KR_6、开门控制感应器 KR_8、下平层感应器 KR_7，上下相距 500mm 左右。他们由在轿厢导轨上，在每一层站井道内装的长约 600mm 的平层隔磁铁板控制。这些干簧感应器与隔磁铁板平层时的状态如图 6.4 所示。

干簧感应器是由干簧管和永久磁铁组成。干簧管由三片铁镍合金组成一对常闭、一对常开触头，并将其密封在玻璃管内。当干簧管放入永久磁铁后，在磁场作用下，干簧管的常开触头闭合，常闭触头断开，相当于电磁继电器通电吸合动作；当隔磁铁板插入永久磁铁与干簧管之间时，由于永久磁铁产生的磁场被隔磁铁板旁路，干簧管内的触头恢复到常闭与常开的初始状态，相当于电磁继电器的断电释放状态。

由图 6.4 可知，当轿厢位于基站时，轿厢顶上的 KR_6，KR_7，KR_8 都进入位于井道内一层楼的平层隔磁铁板内，而同时位于一层的楼层干簧感应器 KR_1 已进入轿厢顶部的停层隔磁铁板中。所以 KR_1，KR_6，KR_7，KR_8 中的干簧管内的常闭触头都因隔磁铁板的旁磁作用而恢复闭合状态，这就为相应的继电器线圈通电做好了准备。



1—停层隔磁铁板；2—楼层干簧感应器KR_1；3—平层隔磁铁板；4—上平层干簧感应器KR_6；
5—开门控制干簧感应器KR_8；6—下层干簧感应器KR_7；7—轿厢；8—对重

图 6.4　电梯平层时各干簧感应器的状态

重新启用电梯时，司机在厅门外将钥匙插入钥匙开关 SA_1 中并转向右侧，开门继电器 KA_3 线圈经 SA_2 安全开关右触头，KA_6 检修继电器常闭触头，SQ_4 厅外开门行程开关已被压下，其常开触头已闭合，SA_1 右触头，KA_5 运行继电器常闭触头、KA_2 关门继电器常闭触头、SQ_6 开门行程开关常闭触头通电吸合，开关门电动机 MD 正向启动旋转，拖动轿门与厅门同时开启，当门开启至 2/3 行程时，轿厢门上的撞块压下 SQ_5 行程开关，短接了 R_5 上的大部分电阻，MD 减速运转，门减速继续开启。当门开启后，压下开门行程开关 SQ_6，开门继电器 KA_4 线圈断电释放，断开 MD 电枢电压，经电阻 R_5 和 R_6 进行能耗制动至停转，如图 6.2、图 6.3 所示。

厅、轿门开启，司机进入轿厢，首先合上层楼指示及上升、下降运行方向指示电路开关 SA_4。由于 KA_{11}，KA_{21} 线圈早已通电吸合，其常开触头早已闭合，当 SA_4 开关闭合后，各层楼的指层灯 HL_1 亮，如图 6.5 所示为电梯层楼指示电路。此时各层楼厅门上方的指层灯箱上显示“1”，表明轿厢位于一层楼。

再将安全开关 SA_2 扳向左侧位置，电压继电器 KA_1 线圈经 SA_2 左触头、安全窗开关 SQ_1、限速器开关 SQ_2、安全钳开关 SQ_3、热继电器 FR_1，FR_2 常闭触头、电阻 R_3 通电吸合，KA_1 常开触头闭合，交、直流控制电路接通电源，使上、下平层继电器 KA_7，KA_8，开门继电器 KA_9 线圈通电吸合，如图 6.3 所示。控制电路处于运行前的准备状态。

乘客从基站进入轿厢，根据进入轿厢乘客的要求及各层楼厅外呼梯要求，司机按下相应的选层按钮 SB_2～SB_5。如要求在三层停靠，可按下 SB_3 停层按钮，如图 6.6 所示。停层指令继电器 KA_{43} 线圈通电吸合，轿内指示灯 HL_{13} 亮，表明停站信号已被登记。此时由于一层

控制继电器 KA_{21} 常闭触头已断开，切断了定向电路中向下继电器 KA_{31} 的通路，所以 KA_{43} 常开触头闭合只能接通向上方向的继电器 KA_{26}，KA_{27} 线圈电路，同时 KA_{27} 常开触头闭合与 KA_{43} 常开触头闭合对 KA_{43} 线圈构成自锁电路。KA_{27} 的另一对常开触头闭合，接通位于向上启动按钮 SB_9 内的指示灯 HL_8，告示司机按下 SB_9 向上启动按钮使电梯向上。KA_{27} 的再一对常开触头闭合，接通了电梯向上运行方向指示灯 HL_6，使各层楼厅门顶上的“向上”箭头灯均亮，表示电梯准备向上运行。如图 6.7 所示为自动定向和指示电路。

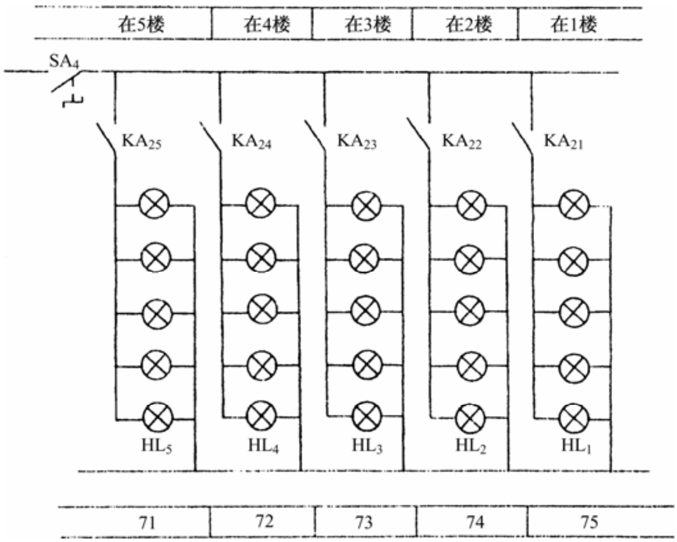


图 6.5　电梯层楼指示电路

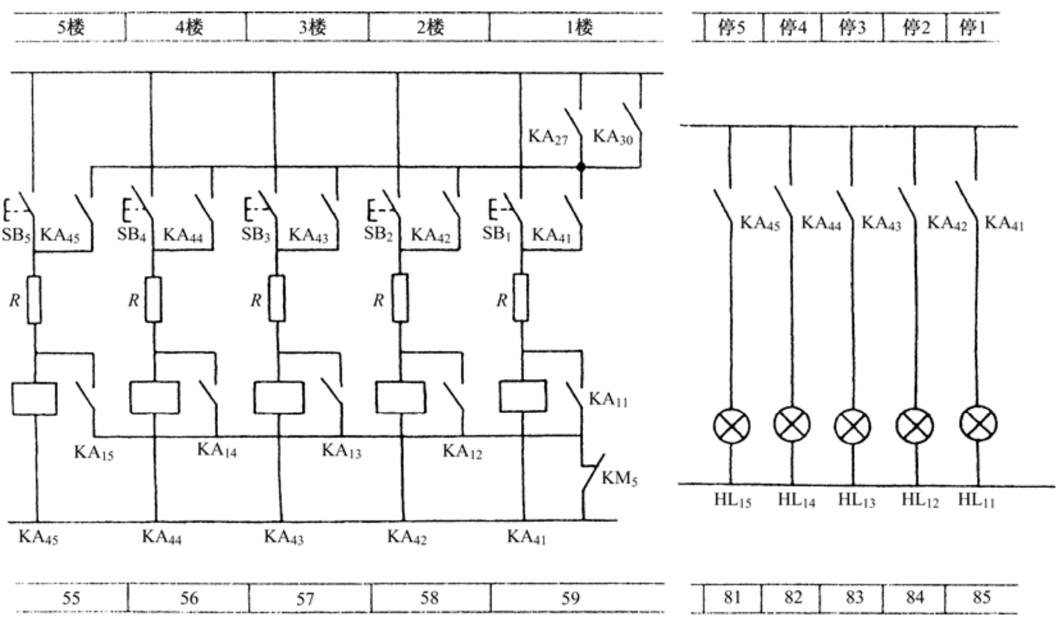


图 6.6　停层指令记忆和指示电路

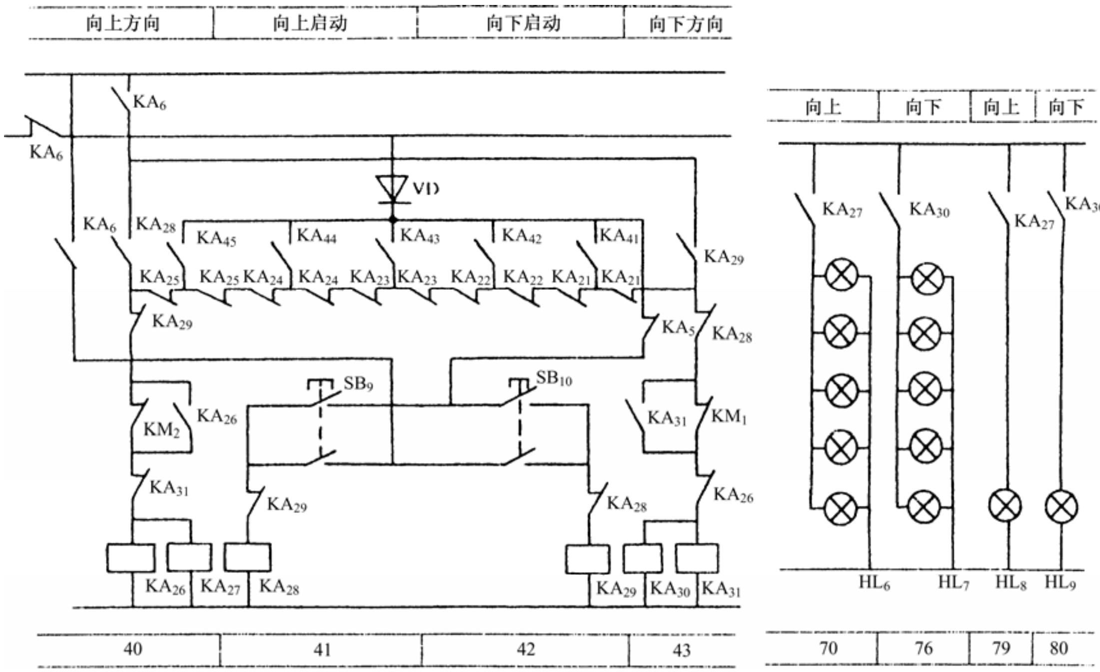


图 6.7　自动定向和指示电路

2．自动关门和关门过程中的反向开启

（1）关门。按下向上启动按钮 SB_9，在关门过程中要一直按下 SB_9，如图 6.7 所示，向上启动继电器 KA_{28} 通电吸合，其通电路径是 KA_6 常闭触头，VD，KA_5 常闭触头，SB_9 按钮，KA_{29} 常闭触头，KA_{28} 线圈。KA_{32} 常开触头闭合，接通关门继电器 KA_2，如图 6.3 所示。KA_2 常开触头闭合，接通开关门电动机 MD 电枢电源，使 MD 反转，如图 6.2 所示，电枢在串联电阻 R_4 和并联电阻 R_6 全部阻值下运转，将轿门和厅门同时关闭，并逐渐减速，当门完全关闭时，压下关门限位开关 SQ_9，KA_2 线圈断电释放，MD 停转。

（2）关门过程中的反向开启。在关门过程中，若门卡住人体或物件时，司机应立即松开向上启动按钮 SB_9，使 KA_{28}，KA_{32}，KA_2 线圈相继断电释放，由于 KA_9 线圈早已通电吸合，所以开门继电器 KA_3 经 KA_1 常开触头（已闭合）、KT_4 常闭触头、KA_9 常开触头（已闭合）、KA_{32} 常闭触头，SQ_6，KA_5，KA_2 常闭触头，KA_3 线圈通电吸合（如图 6.3 所示），MD 正转使电梯门反向开启，直至压下开门限位开关 SQ_6 停止。

3．启动、加速和稳速运行

（1）启动。如图 6.8 所示，由于 KA_{26}，KA_{32} 早已通电吸合，所以启动继电器 KA_{33} 线圈经 KA_{32}，KA_4，KA_{26} 常开触头（已闭合），上升行程开关 SQ_{16} 常闭触头通电吸合。高速运行接触器 KM_3 和加速时间继电器 KT_5 线圈相继通电吸合。KT_5 常开触头闭合，使上升接触器 KM_1 线圈经 KT_5，KA_{33}，KA_{26} 常开触头（已闭合），KM_2 常闭触头，KM_1 线圈、KA_4 常开触头（已闭合）而通电吸合，并由另一对 KT_5 常开触头（已闭合）与 KM_1 自锁触头构成

自锁电路；另一方面 KT_5 另一常开触头闭合增加了 KA_{32} 关门继电器又一通电路径。KM_3 和 KM_1 主触头接通曳引电动机 M 定子电路，串入电抗器 X_1 和电阻 R_1；同时 KM_3，KM_1 辅助触头接通制动器线圈 YB 以及运行继电器 KA_5 线圈电路，于是电磁抱闸松开，M 电动机减压启动。

运行继电器 KA_5 通电吸合有三个作用：即 KA_5 常闭触头断开了开门继电器 KA_3 线圈的电源，使电梯在运行中不能开门，确保运行安全；KA_5 另一常闭触头断开了启动按钮 SB_9 及 SB_{10} 的电源（如图 6.7 所示），保证了运行中不致发生反向启动误操作的可能性；KA_5 常开触头闭合使时间继电器 KT_2～KT_4 线圈通电，以便实现慢加速。

如图 6.8 所示，由于 KT_5 常开触头闭合且并联在 KA_{26} 常开触头与 KA_{28} 常开触头串联电路两端，这就为松开启动按钮 SB_9 后，KA_{28} 线圈断电释放不会引起其他动作。

（2）加速和稳速运行。在电梯关门时启动关门继电器 KA_{32} 通电吸合，其常开触头闭合已使加速时间继电器 KT_1 线圈通电吸合，其延时触头立即断开，使加速接触器 KM_5 线圈不能通电。但当 KA_5 通电吸合后，其常闭触头断开 KT_1 线圈电路，KT_1 延时触头经 2s 延时后才闭合，接通加速接触器 KM_5 线圈电路，KM_5 主触头短接了图 6.2 主电路中的 X_1 和 R_1 电动机在全压下加速至稳速运行。

轿厢上升离开一楼时，一楼平层隔磁铁板离开 KR_7，KR_8，KR_6，停层隔磁铁板离开一楼楼层干簧感应器 KR_1，使继电器 KA_7，KA_8，KA_9 和 KA_{11} 线圈断电释放。KA_{11} 的常闭触头使停站触发时间继电器 KT_7 线圈通电吸合。KA_9 常开触头断开了开门继电器 KA_3 线圈电路，使在运行中 KA_3 不得通电，确保运行安全。

电梯在途经二楼时，平层隔磁板和停层隔磁铁板再次插入 KR_6，KR_7，KR_8 和 KR_2 干簧感应器中，使 KA_7，KA_8，KA_9 和 KA_{12} 线圈又通电吸合。KA_{12} 常开触头闭合接通 KA_{22} 线圈电路，使 KA_{22} 通电吸合并自锁。KA_{21} 断电释放，其常开触头断开一楼的指层灯 HL_1 电路，使 HL_1 灭。KA_{22} 通电吸合，其常开触头闭合，接通了二楼的指层灯 HL_2 电路，使各层厅门上方显示“2”数字，表明轿厢已抵二楼。当轿厢超过二楼后，隔磁铁板又离开 KR_6，KR_7，KR_8 和 KR_2 干簧感应器，使 KA_7，KA_8，KA_9 和 KA_{12} 线圈又断电释放，KT_7 又通电吸合，为停站作准备，电梯通过二楼继续上升。

4．制动减速和平层停车

（1）制动减速。当轿厢上升到所需停站的三楼时，停层隔磁铁板插入三楼的楼层干簧感应器 KR_3 中，KR_3 触头复位，KA_{13} 通电吸合，使 KT_7 与 KA_{22} 线圈断电释放，三楼控制继电器 KA_{23} 线圈通电并自锁，指示灯 HL_2 灭，HL_3 亮，厅门上方显示“3”数字，表示轿厢已进入三楼。此时如果没有向上停层的信号登记，KA_{23} 通电吸合将使向上方向继电器 KA_{26} 及 KA_{27} 线圈断电释放。KA_{27} 的常开触头断开各层楼向上方向箭头灯 HL_6 及轿厢内“向上”指示灯 HL_8 电路。使向上指示灯全熄灭，表示电梯不再向上。同时还使停层记忆继电器 KA_{43} 线圈及轿内记忆指示灯 HL_{13} 相继断电。由于 KT_7 线圈断电后需经 0.3s～0.5s 的延时触头才动作，在这过程中，停站时间继电器 KT_6 已通电并自锁，如图 6.9 所示为电梯停站控制电路。图中 KA_{11}～KA_{15} 为楼层继电器，KA_{26} 向上继电器常闭触头与 KA_{31} 向下继电器常闭触头串联，用以防止上、下端站楼层继电器 KA_{11} 和 KA_{15} 触头接触不良而产生冲顶或墩坑事故。

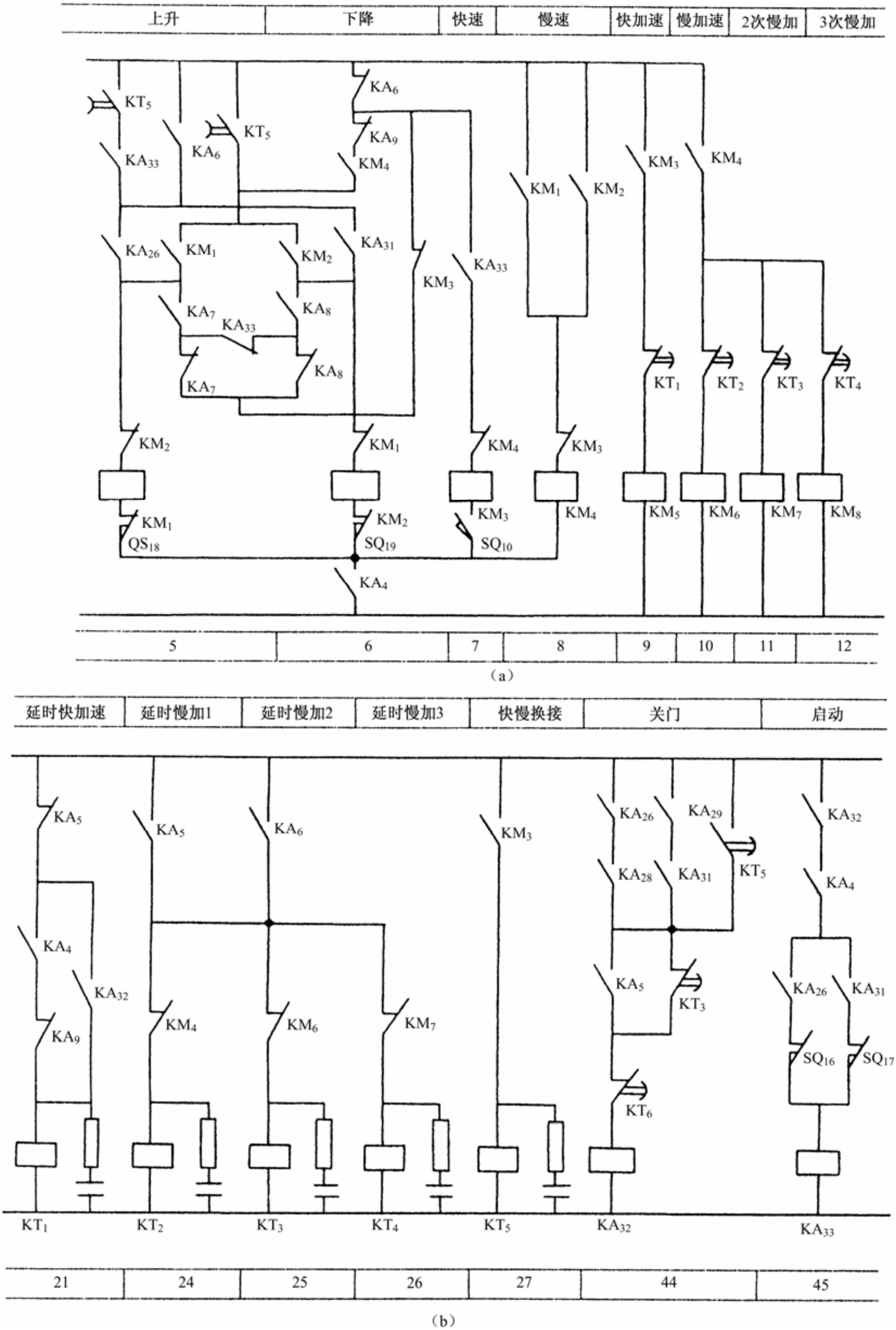


图 6.8　主拖动与启动控制电路

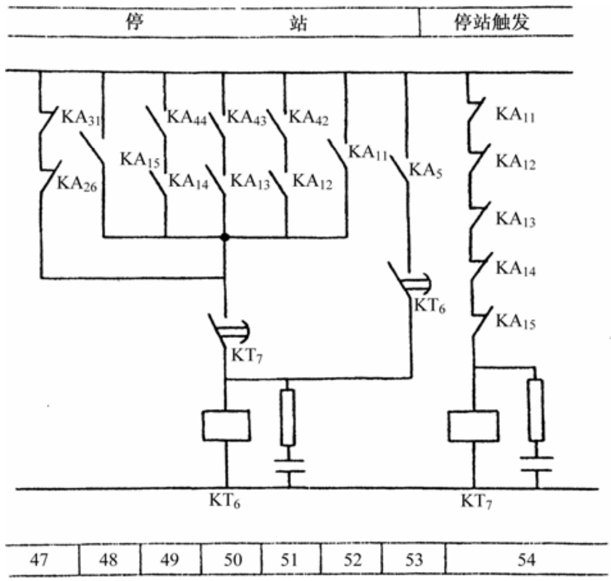


图 6.9 电梯停站控制电路

KT_6 线圈通电吸合使 KA_{32}，KA_{33}，KM_3，KT_5 线圈相继断电释放，KA_{33} 断电又使 KM_1 线圈电路断开，如图 6.8（a）所示，KT5 断电释放，其延时断开触头又使 KM_1 线圈电路处延时断开，暂时维持 KM_1 线圈通电吸合；KM_3 断电释放使 KM_5 断电释放。

KM_3 断电释放后，低速接触器 KM_4 随即通电吸合，为上升接触器 KM_1 又提供了一条通路，如图 6.8 所示。于是电动机 M 在串联 X_2 和 R_2 情况下进行再生发电制动，使其减速。

在电梯启动时，KA_5 线圈通电吸合，时间继电器 KT_2～KT_4 早已通电吸合，其触头已将接触器 KM_6，KM_7，KM_8 线圈电路断开。现在，KM_4 线圈通电吸合又使 KT_2 线圈断电释放，其延时闭合触头闭合，延时接通 KM_6，短接 R_2 的部分电阻，轿厢第一次加速制动，依靠 KT_3，KT_4 和 KM_7，KM_8 的作用，将 X_2 和 R_2 逐级短路，实现三级制动，使电动机 M 低速爬行。

在高、低速接触器 KM_3，KM_4 换接过程中，制动器线圈 YB 是由 KT_5 延时断开触头来维持通电的。

（2）平层停车。当电梯继续低速爬行时，平层隔磁铁板渐渐插入 KR_6，KR_7，KR_8 三个干簧感应器，如图 6.4 所示。首先插入的是上平层干簧感应器 KR_6 中，将 KR_6 触头复位，上平层继电器 KA_7 线圈通电吸合，使上升接触器 KM_1 线圈经 KA_6 常闭触头，KM_3，KA_8，KA_{33} 常闭触头，KA_7 常开触头（已闭合），KM_2 常闭触头、KM_1 线圈，SQ_{18} 常闭触头，KA_4 常开触头（已闭合）形成通路。

轿厢继续上升，当开门控制干簧感应器 KR_8 进入平层隔磁铁板时，其触头复位使开门控制继电器 KA_9 通电吸合，KA_9 常闭触头断开了 KM_1 线圈的一条通路，KA_9 常开触头闭合，为开门继电器 KA_3 通电吸合作准备。

当轿厢到达停站水平位置时，下平层干簧感应器 KR_7 进入平层隔磁铁板，KR_7 常闭触头复位，使下平层继电器 KA_8 通电吸合，KA_8 常闭触头断开，切断了 KM_1 接触器线圈的最后一条通路，使 KM_1 线圈断电释放，使低速接触器 KM_4、电动机 M、制动器线圈 YB 和运行继电器 KA_5 同时断电，KA_5 常开触头断开又使停层时间继电器 KT_6 线圈断电释放，平层

完毕，轿厢停止运动。

5. 自动开门

在停层的过程中，平层隔磁铁板已进入开门控制干簧感应器 KR_8 中而使开门控制继电器 KA_9 通电吸合，在运行继电器 KA_5 断电释放后，开门继电器 KA_3 通电吸合。开关门电动机 MD 正转经开门机构将轿门、厅门同时开启，其开启过程如前所述，经一次减速，最后压下开门行程开关 SQ_6 使 KA_3 断电释放，电动机 MD 断开电源，开门结束，去三楼的乘客步出电梯。

6. 电梯的重新启动

去三楼乘客走出轿厢，三楼搭乘电梯的乘客进入轿厢，司机再根据乘客要求登记停层信号按下 SB_1～SB_5 按钮，重新按上升或下降按钮 SB_9 或 SB_{10}，电梯重新启动运行。

7. 电梯停用后的开门控制

电梯停用必须将轿厢返回基站，于是压下井道内的厅外开门行程开关 SQ_4。断开指示灯开关 SA_4，关闭层楼指示灯和运行方向指示灯。将安全开关 SA_2 板向右侧，电压继电器 KA_1 线圈断电释放，电梯交、直流控制电路断电。司机走出轿厢，将钥匙插入钥匙开关 SA_1 中并向左转，关门继电器 KA_2 线圈通电吸合，电动机 MD 反转，将轿门和厅门同时关闭，完成了电梯关闭停用的操作。

8. 呼梯信号的登记和消除

如图 6.10 所示为电梯呼梯电路。若轿厢停在一楼、二楼或三楼有人呼梯上行，此时三楼乘客在三楼厅外按下上行呼梯按钮 SB_{13}，按下 SB_{13} 的作用如下。

（1）蜂鸣继电器 KA_{46} 线圈通电吸合，蜂鸣器 HA_1 发出蜂鸣声，松开 SB_{13} 按钮，蜂鸣声停止。

（2）呼梯继电器 KA_{53} 线圈通电并自锁，使操纵箱上的按钮内呼唤灯 HL_{53} 和 HL_{73} 亮，实现呼梯记忆。此时司机可根据当时电梯运行方向，用停层按钮 SB_3 将停层信号登记。

当电梯接近所要呼梯楼层时，KA_{33} 启动继电器线圈断电释放，其常闭触头和 KA_{23} 常开触头（已闭合）、KA_{30} 常闭触头短接了 KA_{53} 线圈，使 KA_{53} 断电释放，相应的呼梯信号灯 HL_{53} 和 HL_{73} 都熄灭，呼梯信号清除。

9. 电梯检修时的操作

电梯检修时，将安全开关 SA_2 扳向左侧，使电压继电器 KA_1 线圈通电，其常开触头闭合，接通了电梯的交、直流控制电路电源。合上检修开关 SA_3，检修继电器 KA_6 线圈通电吸合，KA_6 的五对常开触头、三对常闭触头动作，其作用如下。

（1）KA_6 的第一对常闭触头断开，断开了钥匙控制开关门电路，钥匙开关门已无效。

（2）KA_6 第二对常闭触头断开，断开了高速接触器 KM_3 线圈电路，确保电梯在检修时不能开高速。

（3）KA_6 第三对常闭触头断开，断开开门控制继是器 KA_9 线圈电路，KA_9 常开触头断开了开门继电器 KA_3 的电路，使开门只受点动开门按钮 SB_7 控制，实现检修时的点动开门。

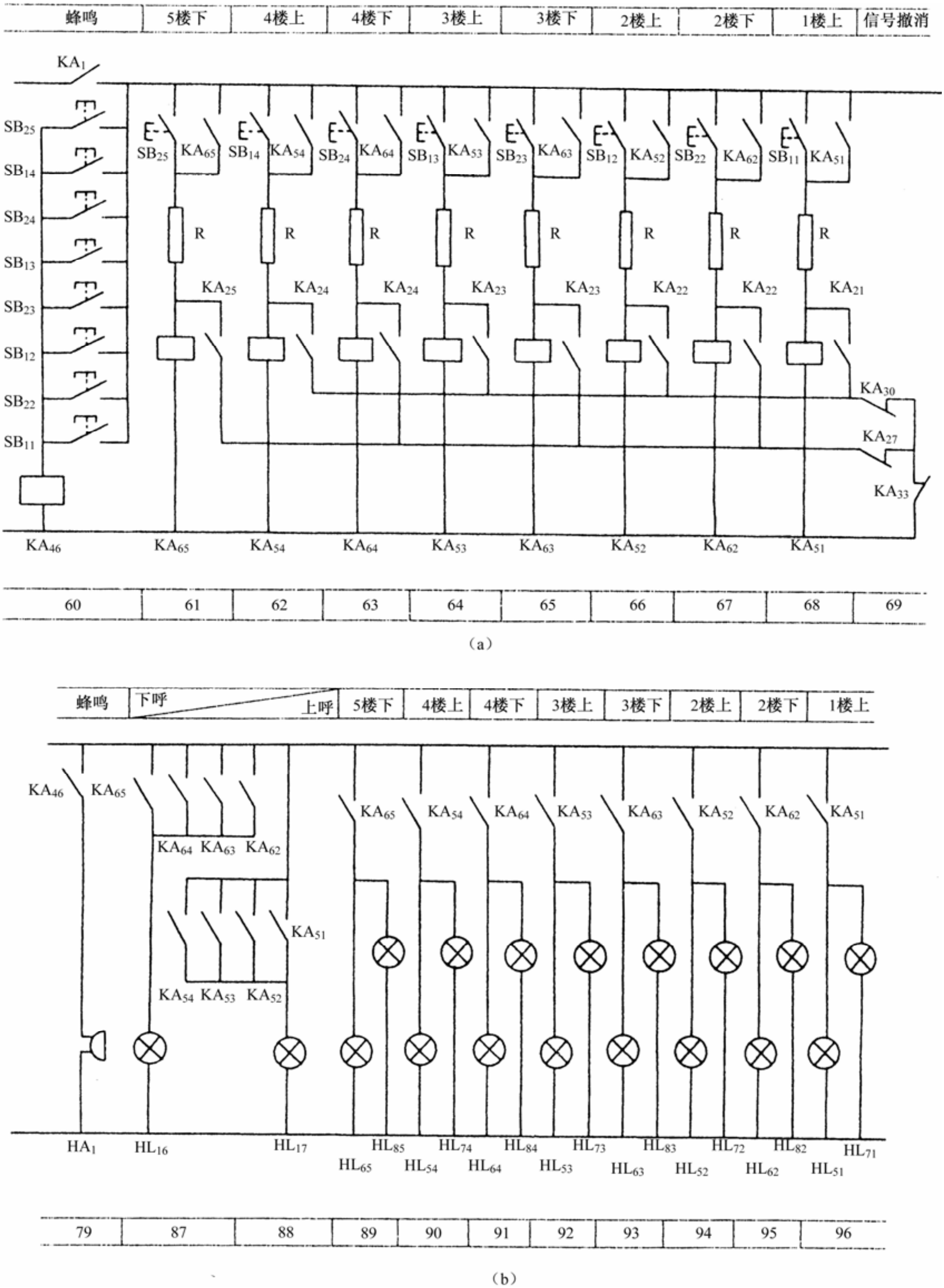


图 6.10　电梯呼梯电路图

（4）KA_6 第三对常闭触头断开，也断开了平层电路，可以实现电梯的任意升降，适应检修工作需要。

（5）KA_6 第一对常开触头闭合，接通点动关门按钮 SB_6，实现检修时的点动关门。

（6）KA_6 第二对常开触头闭合，接通 KT_2～KT_4 时间继电器线圈电路，为低速制动作准备。

（7）KA_6 第三对常开触头闭合，为上升、下降接触器 KM_1，KM_2 通电作准备。

（8）KA_6 第四、五对常开触头闭合，为上升启动继电器 KA_8 与下降启动继电器 KA_9 实现点动控制作准备。

6.2.4　电气安全保护系统

1．门开关保护

在轿厢及各层厅门的关门终端处都装有门开关，并将这些门开关的常开触头串接在控制电路中，只有当这些门全部关闭后，控制电路才接通电源，曳引电动机才能启动，电梯才得以运行。

2．上端站和下端站的强迫减速保护

为了防止电梯在两端站的永磁感应器或选层器触点等失效而产生不了减速信号所导致的快速冲顶或蹲底，根据电梯安全标准规定，必须在电梯井道内的两端设置强迫减速装置。该装置的动作示意图如图 6.11 所示。

当两端站的正常减速信号因某种故障原因而不能发出减速信号时，则通过图 6.11 中的 SQ 的动作，使快速运行继电器 KA_{33} 断开、KA_{32} 吸合，从而迫使电梯强行减速。

当电梯运行速度≥1.6m/s 时，端站的减速保护尚需分清单层和多层保护，即需增加图 6.11 所示的 $1SQ_1$ 或 $1SQ_2$ 两个限位开关。

图中的 $1SQ_1$ 或 $1SQ_2$ 为多层运行时，电梯以额定速度运行起减速保护作用。而当电梯在端站的前一层站向端站运行（即单层运行）时，则应使 SQ_1 或 SQ_2 开关起作用，但此时应将 $1SQ_1$ 通过速度继电器的触点将其短接，以保护单层的正常运行。

3．上方向和下方向限位保护及终端保护

当电梯运行至两端站时，若由于平层停车装置不起作用，则应通过图 6.11 中的 SQ_{11} 或 SQ_{21} 开关起作用而切断电梯的运行方向继电器或接触器，从而使电梯强行停车。

对于速度较大的交流双速电梯，应另设置终端极限开关。当方向限位保护不起作用时，则最后通过碰铁使极限开关动作，切断电梯的动力电源，迫使电梯强行停止。

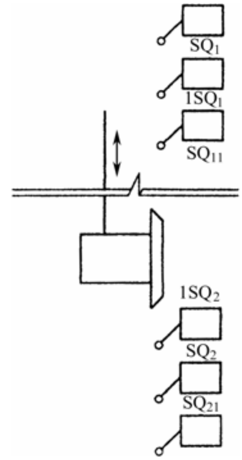


图 6.11　电梯端站保护装置动作示意图

4．断相、错相保护

当供给电梯用电的电网系统由于检修人员检修不慎而造成三相动力线的相序与原相序有所不同时，就可使电梯原定的运行方向变更为相反的方向，这样就会给电梯运行造成极大的危险，带来不堪设想的后果。此外，为防止电梯曳引电动机或原动机在电源断相情况下的不正常运转而导致烧损电动机现象的产生，也要求在电梯控制系统中必须设置断相和错相的保护继电器。

当输入交流曳引电动机或直流电梯中的交流原动机或主变压器接线端子前的任一部分（如热保护继电器、接触器的主触头、熔断器、总电源开关等）发生问题而导致的断相时，均应通过断相、错相保护继电器的动作而切断控制电路中的安全保护回路，迫使电梯强行停止运行。

现在常将断相和错相的两种保护作用合并在一个继电器内，这就是通常所用的断相/错相保护继电器，现在常用的该继电器型号有 XJ-3 型和 XQJ-86-Ⅱ型等。

5．电梯电气控制系统中的短路保护

一般的电气设备均应有短路保护，在电梯的电气控制系统中也与其他电气设备一样，均用不同容量的熔断器进行短路保护。

6．曳引电动机（或直流电梯中的交流原动机或主变压器）的过载保护

一般最常用的过载保护是热继电器保护，当电梯长期过载（即电动机中的电流大于额定电流）时，热继电器中的双金属片经过一定时间后变形而断开串接在安全保护回路中的热继电器触点，从而切断全部控制电路，强令电梯停止运行，从而保护电动机或主变压器不因长期过载而烧损。也有通过埋藏在电动机或主变压器绕组中的热敏电阻或热敏开关，即因过载发热而引起的阻值变化量经放大器放大使微型继电器吸合，断开其串接在安全保护回路中的常闭触点，从而切断电梯的全部控制电路，强令电梯停止运行，从而保护电动机或主变压器不被烧坏。

6.3　电梯电气部分常见故障的分析与排除

电梯出现的故障多为电气系统故障，造成电气系统故障的原因一方面是电梯选用的配套电气元件技术指标不符合国家标准的要求；另一方面是对元件筛选不够严格，混入一些低质量的元件，这也就为故障的出现埋下了隐患。

6.3.1　电气系统的常见故障及其原因分析

1．自动开关门机构及门联锁电路的故障

关好所有厅门和轿门是电梯运行的首要条件，门联锁系统一旦出现故障，电梯就不能运行。这类故障多是由包括自动门锁在内的各种电气元件触点不良或调整不当造成的。

2．继电器、接触器、开关等元件触点断中或短路引起的故障

由继电器、接触器构成的控制电路中，其故障多发生在触点上。如果触点通过大电流或被电弧烧蚀、烧毁，触点被粘连就会造成短路或簧片失去弹性造成断路；如果触点被尘埃阻断或触点的簧片失去弹性就会造成断路。触点的断路或短路都会使电梯的控制环节电路失效，使电梯出现故障。

3．继电器电梯引起冲顶或蹲底的几种原因

（1）接触器有剩磁。接触器铁心表面有油污或磨损得较光滑时，会引起接触器的延时

释放。特别是当快车接触器有延时释放时，能引起严重的冲顶与蹲底事故。

（2）慢车接触器不吸合。当慢车回路有故障时，慢车接触器不吸合。而当快车释放时，制动器松开，电动机因无能耗制动，电梯就会冲过平层区。在端站时，就引起了冲顶或蹲底事故。

（3）慢车减速接触器不吸合。慢车减速接触器回路有故障不吸合时，由于制动力距不够，也能引起冲越平层区的现象。

（4）制动器滞阻。当制动器动作滞阻或有剩磁时，会引起制动器不能抱紧。此原因可能引起对重倒拉轿厢快速向上冲顶，造成电梯严重损坏的事故。所以在平时保养中，检查及维修制动器是至关重要的。

（5）不能短接上下强迫减速开关。当停站触发回路及停站回路有故障时，会引起电梯不能停层，此时如果上下强迫减速限位被短接（或损坏未被察觉），电梯势必会冲顶或蹲底。

4．系统短路故障

由于电气元件绝缘材料老化、失效或受潮而出现电气系统短路。

5．电气元件绝缘引起的故障

电气电子元器件绝缘在长期运行后总会由老化、失效、受潮或者其他原因引起绝缘击穿，造成电气系统的断路或短路而引起电梯故障。

6．电磁干扰引起的故障

电梯电磁干扰主要有以下几种形式。

（1）电源噪声。它主要是指电源和电源进线（包括地线）侵入系统，特别是当系统与其他经常变动的大负载共用电源时会产生电源噪声干扰。当电源引线较长时，传输过程发生压降，感应电动势也会产生噪声干扰，影响系统的正常工作。电源噪声会造成微机丢失一部分或大部分信息，产生错误或误动作。

（2）从输入线侵入的噪声。当输入线与自身系统或其他系统存在着公共地线时，就会侵入此噪声，有时即使采用隔离措施，仍然会受到与输入线相耦合的电磁感应的影响。如果此时输入信号很微小，则极易使系统产生差错和误动作。

（3）静电噪声。它是由摩擦所引起的。摩擦产生的静电是很微小的，但是电压可高达数万伏。IEEE（美国电气电子工程师学会）可靠性物理讨论会提供的材料表明，在毛毯上行走的人带电最高可达 39kV，在工作台旁工作的人带电也可达 3kV。因此有高电位的人接触电脑板时，人体上的电荷向系统放电，急剧的放电电流造成噪声，影响系统工作，甚至会造成电子元器件的损坏。针对以上的状况必须采用防干扰措施。防干扰措施自身也应该正确可靠，否则也会使电梯产生故障。

（4）电气电子元器件损坏或位置调整不当引起的故障。电梯的电气系统，特别是控制电路，结构复杂，一旦发生事故，要排除故障，单凭经验是不够的，这就要求维修人员必须掌握电气控制电路的工作原理及控制环节的工作过程，明确各个元器件之间的相互关系及其作用，了解各电气元器件的安装位置。只有这样，才能准确地判断故障的发生点，并迅速予以排除。在这个基础上，若把他人和自身的实际工作经验加以总结和应用，对迅速排除故障、减少损失是很有帮助的，因为某些运行中出现的故障是有规律的。

电梯的电气控制系统结构复杂而又分散，要想迅速排除电气系统的故障，维修人员应做到以下几点。

① 掌握电梯电气控制系统的电气原理图、接线图、安装位置图。

② 熟悉电梯的启动、加速运行、满速运行、到站提前换速、平层、开门等全部控制过程。

③ 掌握各种电气元器件间的控制关系，继电器、接触器触点的作用。

④ 了解各电气元器件的安装位置和机电间的配合关系。

维修人员要不断分析、研究和总结经验，才能做到准确地判断故障，并迅速将其排除。判断电气控制系统故障的根据就是电梯控制原理。因此要迅速排除故障，必须掌握电梯控制系统的电气原理图，搞清楚电梯定向、启动、加速、满速运行、到站预报、换速、平层、开关门等全过程各环节的工作原理，各电气组件之间相互控制关系、各电气组件、继电器/接触器及其触点的作用等。在判断电梯电气故障之前，必须彻底了解故障现象，才能根据电路图和故障现象，迅速准确地分析判断故障的原因并找到故障点。

6.3.2 电气系统的常见故障及一般的排除方法

电气系统的常见故障及一般的排除方法如表 6.1 所示。

表 6.1 电气系统的常见故障及一般排除方法

故障现象	故障原因	排除方法
局部回路熔丝经常烧断	该组件或导线碰地	查出碰地点酌情处理
	某继电器绝缘片击穿	加强绝缘片绝缘或更换继电器
	熔丝容量过小	按额定电源选用适当熔丝
主电路熔丝经常烧断（或主电路开关经常跳闸）	部分原因同上	对应处理同上
	启动、制动时间设定过长或过短	按电梯技术说明书调整启动、制动时间
	启动、制动电抗器（电阻）接头压片松动	紧固接点
闭合基站钥匙开关，基站电梯不能开门	厅外开关门钥匙开关接触不良或损坏	更换钥匙
	开门第一限位开关的触点接触不良	更换限位开关
	基站厅外开关门控制开关触点接触不良或损坏	更换开关门控制开关
	开门继电器损坏或其控制电路有故障	更换继电器或检查故障线路
电梯到基站后不能开门	开关电路熔丝烧断	更换熔丝
	开门限位开关接点接触不良或损坏	更换限位
	开门继电器损坏或其控制电路有故障	更换继电器或检查电路
	门机传动带松脱或断裂	调整或更换传动带
开关门时冲击声很大	开关门粗调电阻器调整不当	调整电阻器电阻环位置
	开关门细调电阻调整不当或电阻环接触不良	调整电阻环位置或调整其接触压力
按开关按钮不能自动关门	开关门回路熔丝烧断	更换熔丝
	关门继电器损坏或关门回路有故障	更换继电器或检查关门回路并修复
	关门第一限位开关触点接触不良	更换限位开关
	安全触板卡死或开关损坏	调整安全触板或更换触板
	门区光电保护装置故障	开关修复或调整

续表

故 障 现 象	故 障 原 因	排 除 方 法
关门后电梯不能启动	厅门与轿门联锁开关接触不良或损坏	检查修复联锁
	电源电压过低或断相	检查并修复
	制动器制动瓦未松开	调整制动器
	直流电梯励磁装置故障	检查并修复
电梯启动困难或运行速度减慢	电源电压过低或断相	检查并修复
	制动器制动瓦未松开	调整制动器
	直流电梯励磁装置故障	检查并修复
	曳引电动机轴承润滑不良	补油或清洗更换润滑油脂
	曳引机减速器润滑不良	补油或更换润滑油脂
电梯运行时轿厢有异声或噪音	导轨润滑不良	清洗导轨并加油
	导向轮或反绳轮与轴套润滑不良	清洗更换润滑油脂
	感应器与隔磁板碰撞	调整感应器或隔磁板位置
	导靴靴衬磨损严重	更换靴衬
	滚动靴地轴承磨损	更换轴承
	制动器间隙过大或过小	调整制动器间隙
	轿顶挂件松动或井道有异物	紧固挂物、清除异物
电梯平层准确度差	轿厢过载	严禁超载
	制动器制动力过大或过小	调整制动器
	制动器制动瓦磨损严重	更换制动器制动瓦
	平层感应器与隔磁板相对位置发生变化	调整两者的相对位置
电梯运行未到站突然减速停车	门刀与门轮发生碰撞	调整门刀与门轮间隙
	电梯超速，限速器动作	处理超速故障，恢复安全装置
	厅门或轿门突然被打开	检查厅门或轿门
	外电网投入停电或换电	如果时间较长且轿厢有人，做紧急救援
	因某种原因，总电源开关跳闸或熔丝烧断	查出原因，处理后更换熔丝或重新合上总电源开关
	其他安全装置动作	调查安全装置动作原因，并可靠恢复
电梯到站不换速停车	本层换速感应器损坏或其与隔磁板位置不当	更换感应器或调整其相对位置
	上下平层继电器损坏或线路故障	更换继电器或检查继电器控制电路
	快车接触器不释放	更换接触器或检查控制电路
	本层换速继电器损坏或控制电路故障	更换继电器或检查继电器控制电路
	上下方向接触器不释放	更换接触器或检查控制电路
上（下）行正常而下（上）行无快车	下（上）行第一、第二限位开关触点接触不良	更换限位开关
	直流电梯励磁装置有故障	检查并修复
	下（上）行控制继电器、接触器损坏或其控制电路故障	更换继电器、接触器或检查电路故障并修复

续表

故障现象	故障原因	排除方法
电梯运行抖动或忽快忽慢	测速装置反馈信号有问题	检查测速发电机、码盘等，并做必要调整
	电磁制动器电压不正常	检查并修复
	直流电梯励磁装置有故障	检查并修复
	选层器信号不正常	检查选层器并修复
关门时门区保护装置失灵	安全触板地行程开关短路	检查门控开关，排除短路点
	安全触板传动机构失灵	调整安全触板传动机构，使其灵活可靠
	安全触板微动开关补卡死，不能动作	修复或更换微动开关
	门区光电感应/光幕失灵	检查并修复

【内容检核】

（1）电梯的基本结构：一般由机房、轿厢、厅门及井道和井底设备组成。

（2）电梯的分类：可以按用途、驱动方式、提升速度、曳引电动机、操纵方式、有无蜗轮减速器或机房位置等进行分类。

（3）交流双速电梯的特点。

（4）交流双速电梯的主电路：主拖动电动机 M 的主电路及开关门电动机 MD 的主电路。

（5）交流双速电梯的控制电路，包括：

① 电梯的启用与停用；

② 自动关门和关门过程中的反向开启；

③ 启动、加速和稳速运行；

④ 制动减速和平层停车；

⑤ 自动开门；

⑥ 电梯的重新启动；

⑦ 电梯停用后的开门控制；

⑧ 呼梯信号的登记和消除；

⑨ 电梯检修时的操作。

（6）电气安全保护系统包括：

① 门开关保护；

② 上端站和下端站的强迫减速保护；

③ 上方向和下方向限位保护及终端保护；

④ 断相、错相保护；

⑤ 电梯电气控制系统中的短路保护；

⑥ 曳引电动机（或直流电梯中的交流原动机或主变压器）的过载保护。

（7）电气系统的常见故障：

① 自动开关门机构及门联锁电路的故障；

② 继电器、接触器、开关等元件触点断中或短路引起的故障；

③ 继电器电梯引起冲顶或蹲底；

④ 系统短路故障；

⑤ 电气元件绝缘引起的故障；

⑥ 电磁干扰引起的故障。



思考与练习

1．简述电梯的基本结构。

2．电梯设置了哪些电气安全保护？

3．交流双速电梯设置了几台电动机？它们的作用分别是什么？

4．电梯是如何实现制动减速和平层停车的？

5．简述交流双速电梯的运行控制过程。

6．试分析电梯厅轿门不能开关的故障原因及排除方法。

第 7 章　可编程序控制器

学习目标

◆　知识目标　了解可编程序控制器的概念、分类、特点及小型可编程序控制器的硬件组成及性能；掌握可编程序控制器的组成及工作原理；＊掌握三菱 FX_{2N} 系列可编程序控制器指令系统及程序设计的基本方法。

◆　能力目标　能正确认识小型可编程序控制器的结构及外部接线，并能输入、检查、调试、运行程序；＊能够进行简单程序的设计，对简单的控制过程实现可编程序控制器控制。

重点和难点

◆　重点　可编程序控制器的结构组成及工作原理；＊FX_{2N} 系列可编程序控制器的指令系统及程序的设计方法。

◆　难点　可编程序控制器的工作原理；＊FX_{2N} 系列可编程序控制器的指令系统及程序的设计方法。

可编程序控制器（Programmable Controller）简称 PC。个人计算机（Personal Computer）也称 PC，为了避免混淆，人们将最初用于逻辑控制的可编程控制器叫做 PLC（Programmable Logic Controller）。本书也采用 PLC 作为可编程序控制器的简称。PLC 是以微处理器为基础，综合计算机技术、自动控制技术以及通信技术发展起来的新一代工业自动化控制装置。它采用可编程序存储器，来存储和执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数及算术运算等操作的指令，并通过数字式或模拟式的输入和输出方式，控制各种类型的机械或生产过程，是一种专为在工业环境下应用而设计的数字运算的电子系统。目前，PLC 技术、数控技术及工业机器人技术已发展成为现代工业自动化的三大支柱。

7.1　PLC的组成及工作原理

7.1.1　PLC的组成

PLC 系统的实际组成与微型计算机基本相同，它也是由硬件系统和软件系统两大部分组成的。

1．PLC的硬件系统

PLC 的硬件系统就是指构成它的各个结构部件，是有形实体，如图 7.1 所示。

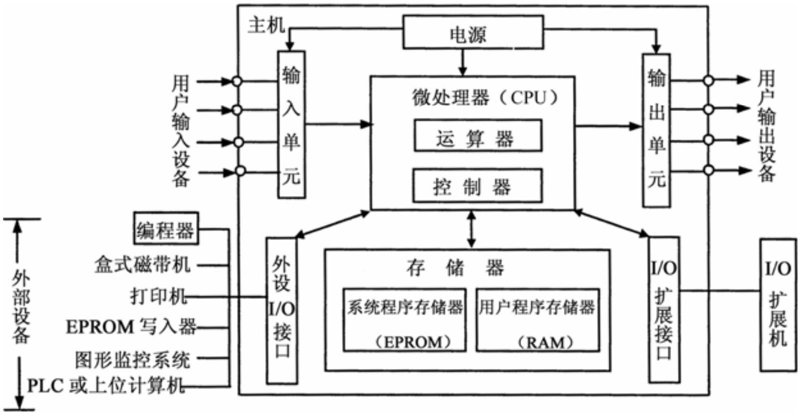


图 7.1　PLC 组成框图

PLC 的硬件系统由主机、I/O 扩展机（单元）及外部设备组成。主机和扩展机采用微机的结构形式，其内部由运算器、控制器、存储器、输入单元、输出单元以及接口等部分组成。运算器和控制器集成在一片或几片大规模集成电路中，称之为微处理器（或中央处理器），简称 CPU。存储器主要有系统程序存储器（EPROM）和用户程序存储器（RAM）。

主机内各部分之间均通过总线连接。总线有电源总线、控制总线、地址总线和数据总线。

输入、输出单元是 PLC 与外部输入信号、被控设备连接的转换电路，通过外部接线端子可直接与现场设备相连。如将按钮、行程开关、继电器触点、传感器等接至输入端，通过输入单元把它们的输入信号转换成微处理器能接受和处理的数字信号。输出单元则接受经过微处理器处理过的数字信号，并把这些信号转换成被控设备或显示设备能够接受的电压或电流信号，经过输出端子的输出以驱动接触器线圈、电磁阀、信号灯、电动机等执行装置。

编程器是 PLC 重要的外围设备，一般 PLC 都配有专用的编程器。通过编程器可以输入程序，并可以对用户程序进行检查、修改、调试和监视，还可以调用和显示 PLC 的一些状态和系统参数。目前在许多 PLC 控制系统中可以用通用的计算机，加上适当的接口和软件进行编程。

2．PLC的软件系统

PLC 的软件系统是指 PLC 所使用的各种程序的集合。包括系统程序（或称为系统软件）和用户程序（或称为应用软件）。系统程序主要包括系统管理和监控程序以及对用户程序进行编译处理的程序，各种性能不同的 PLC 系统程序会有所不同。系统程序在出厂前已被固化在 EPROM 中，用户不能改变。用户程序是用户根据生产过程和工艺要求而编制的程序，通过编程器或计算机输入到 PLC 的 RAM 中，并可以进行修改或删除。

7.1.2　PLC的工作过程

PLC 的工作过程大多采用循环扫描的方式进行的，即 PLC 对用户程序逐条顺序执行，直至程序结束，然后再从头开始扫描，周而复始，直至停止执行用户程序。

PLC 对用户程序的循环扫描过程，一般分为 3 个阶段进行，即输入采样阶段、程序执行阶段和输出刷新阶段，如图 7.2 所示。

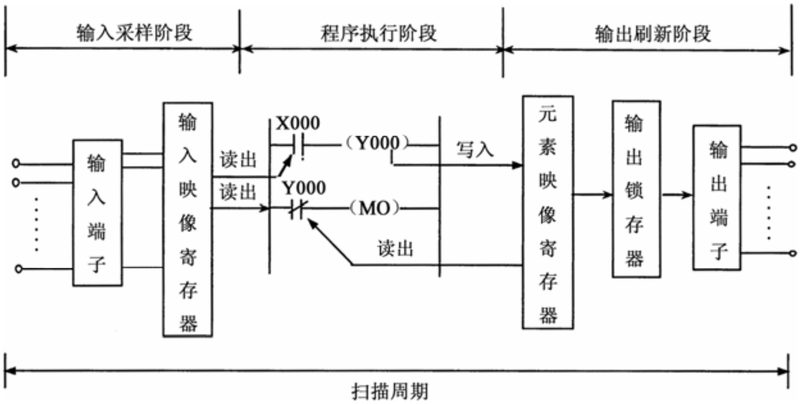


图 7.2 PLC 的工作过程

1. 输入采样阶段

PLC 在输入采样阶段，以扫描方式顺序读入所有输入端子的状态——接通/断开（ON/OFF），并将其状态存入输入映像寄存器。接着转入程序执行阶段，在程序执行期间，即使输入状态发生变化，输入映像寄存器内容也不会变化，这些变化只能在一个工作周期的输入采样阶段才被读入刷新。

2. 程序执行阶段

在程序执行阶段，PLC 对程序按顺序进行扫描。如果程序用梯形图表示，则总是按先上后下、先左后右的顺序进行扫描。每扫描一条指令时，所需的输入状态或其他元素的状态分别由输入映像寄存器和元素映像寄存器中读出，然后进行逻辑运算，并将运算结果写入到元素映像寄存器中。也就是说程序执行过程中，元素映像寄存器内元素的状态可以被后面将要执行到的程序所应用，它所寄存的内容也会随程序执行的进程而变化。

3. 输出刷新阶段

程序执行完毕后，进入输出刷新阶段。此时将元素映像寄存器中所有输出继电器的状态——接通/断开，转存到输出锁存电路，再驱动被控对象（负载），这就是 PLC 的实际输出。

PLC 重复地执行上述 3 个阶段，这 3 个阶段也是分时完成的。为了连续地完成 PLC 所承担的工作，系统必须周而复始地依一定的顺序完成这一系列的具体工作。这种工作方式叫做循环扫描工作方式。PLC 执行一次扫描操作所需的时间称为扫描周期，其典型值为 1ms～100ms。一般来说，一个扫描过程中，执行指令的时间占了绝大部分。

7.2 PLC的分类及特点

7.2.1 PLC的分类

目前，PLC 的品种繁多，型号和规格也不统一，通常只能根据 PLC 结构形式、I/O 点数以及功能范围三方面来大致分类。

1. 按结构形式分类

按 PLC 结构形式不同，可分为整体式、模块式和叠装式三类。

（1）整体式 PLC。它将 CPU、存储器及 I/O 等基本单元装在少数几块印制电路板上，并连同电源一起装在箱状机壳内，形成一个整体，通常称之为主机（也称基本单元）。小型 PLC 常采用这种结构，适用于工业生产中的单机控制。这种结构的优点是简单、节省材料，且体积小、价格低。缺点是主机的 I/O 点数固定，使用不够灵活，维修也较麻烦。

（2）模块式 PLC。它将 CPU 及存储器、输入和输出单元做成独立的模块，即 CPU 模块、输入模块、输出模块，然后组装在一个电源框架（机架）内。一般大、中型 PLC 采用这种结构。这种结构的优点是 I/O 模块及 I/O 点数可根据用户需要方便灵活地组合，对现场的应变能力强，便于维修。缺点是结构较复杂，插件较多，价格较高。

（3）叠装式 PLC。它结合了整体式和模块式 PLC 的优点，其基本单元和扩展单元等高等宽，但是长度不同。它们之间仅用扁平电缆连接，紧密拼装后组成一个整齐的长方体，输入、输出点数的配置也相当灵活。

2. 按输入/输出点数分类

按 I/O 点数不同，PLC 可分为小型、中型、大型三类。

（1）小型 PLC。I/O 点数为 128 点（包括 128 点）以下，用户程序存储器容量在 2KB 以下。

（2）中型 PLC。I/O 点数在 129 点～513 点之间，用户程序存储器容量在 2KB～8KB 之间。

（3）大型 PLC。I/O 点数为 513 点以上，用户程序存储器容量在 8KB 以上。

3. 按功能分类

按功能范围不同，PLC 可分为低档、中档、高档机三类。

（1）低档机。具有逻辑运算、定时、计数、移位以及自诊断、监控等基本功能，还可增设少量模拟量输入/输出（即 A/D，D/A 转换）、算术运算、数据传送、远程 I/O、通信等功能。

（2）中档机。除具有低档机的功能外，还具有较强的模拟量输入/输出、算术运算、数据传送和比较、数制转换、远程 I/O、子程序、通信联网等功能，还可增设中断控制、PID 回路控制等功能。

（3）高档机。除具有中档机的功能外，还增设带符号算术运算、矩阵运算、位逻辑运算、平方根运算以及其他特殊功能函数的运算、表格传送及表格功能等。

7.2.2　PLC的特点

1. 性能稳定可靠，抗干扰能力强

在 PLC 机的硬件和软件设计中采取了多种抗干扰技术，增加了自诊断、纠错等功能，使其在恶劣工业现场的可靠性及抗干扰能力显著提高。

2．功能完善

现代 PLC 不仅具有数字和模拟量输入/输出、算术和逻辑运算、定时、计数、步进、锁存、主控移位、跳转和强制输入/输出等功能，还具有通信连网、PID 闭环回路控制、中断控制、特殊功能函数运算、自诊断、报警、生产过程监控等功能。

3．通用性好，应用灵活

现代 PLC 产品已系列化，其结构形式多种多样，其功能又有低、中、高挡之分，可适应各种不同要求的工业控制。同一挡次、不同机型的 PLC 功能基本相同，应用中可以互换。PLC 的功能模块品种多，可以灵活组合成各种不同功能、不同大小的控制装置，可以适应各种大小不同、功能复杂的控制要求，并可以适应产品规格或工艺流程改变的场合。

4．编程简单，手段多，控制程序可变

PLC 机采用梯形图与功能助记符形式进行编程，使用户能很容易地阅读和编写程序，易被操作人员所接受。现在许多 PLC 机还提供功能很强的其他编程手段，以满足各种不同的需要。当生产工艺流程改变或生产线设备更新时，不必改变或很少改变 PLC 机的硬件设备，只要改变控制程序就可满足控制要求，极大地减少了设计及施工的工作量。PLC 机所构成的控制电路可以先进行模拟调试，满足要求后再安装到生产现场，减少了现场的工作量。

5．接线简单

PLC 机本身包含了继电器、定时器、计数器等控制元件的功能，大大地减少了控制系统所需的机电元件的品种和数量。并且 PLC 机是采用软件编程达到控制功能的，接线时只需将输入信号的设备与 PLC 的输入端子连接，将接受输出信号、执行控制任务的执行元件与 PLC 输出端子连接，构成控制回路。PLC 控制系统接线简单、工作量少。

6．监视功能强

PLC 机具有很强的监视功能。小型低档 PLC 机可以利用编程器监视各元件的状态或通过适当通信接口及应用软件在 CRT 上监视各元件的状态。中档以上的 PLC 机提供 CRT 接口，可以从屏幕上来了解系统工作情况，以便及时、正确地处理异常情况，迅速排除故障。

7．速度快

PLC 机采用软件进行控制，其控制速度取决于 CPU 速度和扫描周期。而一条基本指令的执行时间仅为微秒级甚至纳秒级，其控制速度很快。

8．体积小，重量轻，功耗低

PLC 采用半导体集成电路，其体积小，重量轻，功耗低。

PLC 机结构紧凑，坚固耐用，具有较强的环境适应性和较高的抗干扰能力，易于装入机械设备内部，是实现机电一体化的理想控制设备。

7.3　三菱 FX_{2N} 系列PLC简介

日本三菱电机公司自 1971 开始研制和生产 PLC 以来，先后推出的小型、超小型 PLC 有 F，F_1，F_2，FX_1，FX_{2C}，FX_0，FX_{0N}，FX_{2N}，FX_{2NC} 等系列。其中 F 系列已停产，取而代之的是 FX_2 系列机型，属于高性能叠装式机种，也是三菱公司的典型产品。20 世纪 90 年代，三菱公司在 FX 系列 PLC 基础上又推出了 FX_{2N} 系列产品，该机型在运算速度，指令数量及通信能力方面有了较大进步，是一种小型化、高速度、高性能、各方面都相当于 FX 系列中最高档次的超小型的 PLC。本节以三菱 FX_{2N} 系列 PLC 机为代表，介绍其硬件组成及性能、指令系统及编程方法。

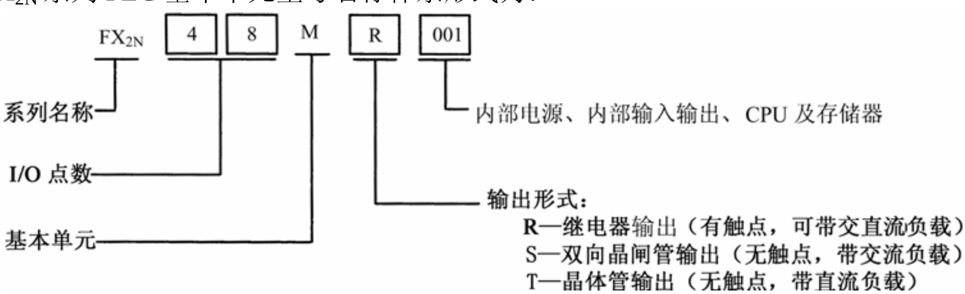
7.3.1　FX_{2N} 系列PLC的基本组成

FX_{2N} 系列 PLC 由基本单元、扩展单元、扩展模块及特殊功能单元构成。

基本单元（Basic Unit）包括 CPU、存储器、输入口、输出口及电源，是 PLC 的主要部分。扩展单元（Extension Unit）是用于增加 I/O 点数的装置，内部设有电源。扩展模块（Extension Module）用于增加 I/O 点数及改变 I/O 比例，内部无电源，由基本单元或扩展单元供电。因扩展单元及扩展模块无 CPU，因此必须与基本单元一起使用。特殊功能单元（Special Function Unit）是一些专门用途的装置，如位置控制模块、模拟量控制模块、计算机通信模块等。

1．FX_{2N} 系列PLC基本单元型号名称体系及其种类

FX_{2N} 系列 PLC 基本单元型号名称体系形式为：



FX_{2N} 系列 PLC 的基本单元的种类共有 16 种，如表 7.1 所示。

表 7.1　FX_{2N} 系列 PLC 的基本单元种类

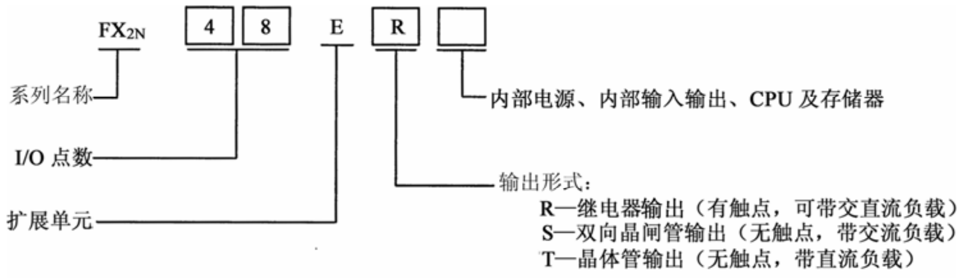
FX_{2N} 系列 PLC 的基本单元			输入点数	输出点数	输入输出总点数
AD 电源 DC 输入					
继电器输出	晶闸管输出	晶体管输出			
FX_{2N}-16MR-001		FX_{2N}-16MT-001	8	8	16
FX_{2N}-32MR-001	FX_{2N}-32MS-001	FX_{2N}-32MT-001	16	16	32
FX_{2N}-48MR-001	FX_{2N}-48MS-001	FX_{2N}-48MT-001	24	24	48
FX_{2N}-64MR-001	FX_{2N}-64MS-001	FX_{2N}-64MT-001	32	32	64
FX_{2N}-80MR-001	FX_{2N}-80MS-001	FX_{2N}-80MT-001	40	40	80
FX_{2N}-128MR-001		FX_{2N}-128MT-001	64	64	128

FX_{2N} 系列 PLC 的基本单元可扩展连接的最大输入输出点为

输入点数：184 点以内
输出点数：184 点以内
合计点数：256 点以内。

2. FX_{2N}系列PLC扩展单元型号名称体系及其种类

FX_{2N} 系列 PLC 扩展单元型号名称体系形式为：



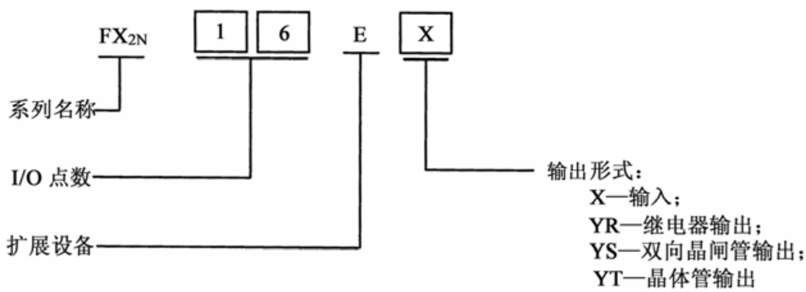
FX_{2N} 系列 PLC 的扩展单元的种类共有 4 种，如表 7.2 所示。

表 7.2 FX_{2N} 系列 PLC 的扩展单元的种类

FX_{2N} 系列 PLC 的扩展单元			输入点数	输出点数	输入输出总点数
AD 电源 DC 输入					
继电器输出	晶闸管输出	晶体管输出			
FX_{2N}-32ER	—	FX_{2N}-32ET	16	16	32
FX_{2N}-48ER	—	FX_{2N}-48ET	24	24	48

3. FX_{2N}系列PLC扩展模块型号名称体系及其种类

FX_{2N} 系列 PLC 扩展模块型号名称体系形式为：



FX_{2N} 系列 PLC 的扩展模块的种类共有 4 种，如表 7.3 所示。

表 7.3 FX_{2N} 系列 PLC 的扩展模块的种类

继电器		晶闸管	晶体管	输入点数	输出点数	输入输出总点数
输出	输入	输出	输出			
FX_{2N}-16EYR		FX_{2N}-16EYS	FX_{2N}-16EYT	0	16	16
—	FX_{2N}-16EX	—		16	0	16

4．FX_{2N}系列PLC使用的特殊功能模块

FX_{2N} 系列 PLC 备有各种特殊功能模块，如表 7.4 所示。

表 7.4　FX_{2N} 系列 PLC 使用的特殊功能模块

分　　类	型　　号	名　　称	占有点数	耗电量（DC）/5V
模拟量控制模块	FX_{2N}-4AD	4CH 模拟量输入（4 路）	8	30mA
	FX_{2N}-4DA	4CH 模拟量输出（4 路）	8	30mA
	FX_{2N}-4AD-PT	4CH 温度传感器输入	8	30mA
	FX_{2N}-4AD-TC	4CH 热电偶温度传感器输入	8	30mA
位置控制模块	FX_{2N}-1HC	50KHz2 高速计数器	8	90mA
	FX_{2N}-1PG	100Kpps 高速脉冲输出	8	55mA
计算机通信模块	FX_{2N}-232-IF	RS232 通信接口	8	40mA
	FX_{2N}-232-BD	RS232 通信接板	—	20mA
	FX_{2N}-422-BD	RS432 通信接板	—	60mA
	FX_{2N}-485-BD	RS485 通信接板	—	60mA
特殊功能板	FX_{2N}-CNV-BD	与 FX_{ON} 用适配器接板	—	—
	FX_{2N}-8AV-BD	容量适配器接板	—	20mA
	FX_{2N}-CNV-IF	与 FX_{ON} 用接口板	8	15mA

7.3.2　指令系统及编程

1．PLC的编程语言

PLC 是按照程序进行工作的。程序就是用一定的语言把控制任务描述出来。PLC 常用的语言有：梯形图 LAD（Ladder Diagram）、指令表（Instruction List）、顺序功能图（Sequential Function Chart）、功能块图（Function Block Diagram）及结构文本（Structured Text）。目前使用较多的是梯形图和指令表。

（1）梯形图。梯形图基本上沿用电气控制图的形式，采用的符号也大致相同。如图 7.3 所示为梯形图构成。两侧平行的竖线为母线，其间由许多接点和线圈组成的逻辑行。应用梯形图进行编程时，只要按梯形图逻辑行顺序输入到计算机中去，计算机就可自动将梯形图转换成 PLC 能接受的机器语言，存入并执行。

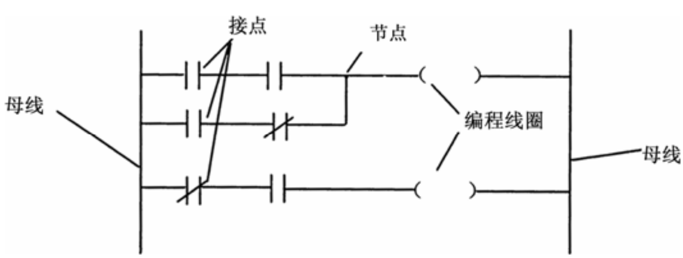


图 7.3　梯形图构成

（2）指令表。指令表类似于计算机汇编语言的形式，用指令的助记符来进行编程。它通过编程器按照指令表的指令顺序逐条写入 PLC 并可直接运行。指令表的指令助记符比较

直观易懂，编程也简单，便于工程人员掌握，因此得到广泛的应用。但要注意不同厂家制造的 PLC，所使用的指令助记符有所不同，即对同一梯形图来说，用指令助记符写成的语句表也不相同。

2．PLC的元素及编号范围

PLC 的核心是微处理器，可为用户提供多种继电器，也可将微处理器看成由继电器、定时器、计数器等组成的一个组合体。当然 PLC 所提供的继电器并非实际的物理继电器，其实质是存储器中的每一位触发器，并通过软件编程来实现其功能，这些元素统称为 PLC 的元素。其中，输入、输出继电器与外部用户设备相连，称为外部元素；而其他继电器与外部用户设备没有直接连接，称之为内部元素。

为了便于编写与阅读程序，通常用符号来表示 PLC 的各种元素，并给每种元素以特定的编号。如用 X 表示输入继电器，Y 表示输出继电器，T 表示定时器，C 表示计数器，M 表示中间继电器，S 表示状态寄存器等。

三菱 FX_{2N} 系列 PLC 的一般元素种类和编号如表 7.5 所示。

表 7.5　三菱 FX_{2N} 系列 PLC 的一般编程元件种类和编号

<table>
<tr><th></th><th>FX2N-16M</th><th>FX2N-32M</th><th>FX2N-48M</th><th>FX2N-64M</th><th>FX2N-80M</th><th>FX2N-128M</th><th>带　扩　展</th><th></th></tr>
<tr><td>输入继电器 X</td><td>X000～X007
8 点</td><td>X000～X017
16 点</td><td>X000～X027
24 点</td><td>X000～X037
32 点</td><td>X000～X047
40 点</td><td>X000～X077
64 点</td><td>X000～X267
（X177）
184 点（128 点）</td><td rowspan="2">输入输出合计256点</td></tr>
<tr><td>输出继电器 Y</td><td>Y000～Y007
8 点</td><td>Y000～Y017
16 点</td><td>Y000～Y027
24 点</td><td>Y000～Y037
32 点</td><td>Y000～Y047
40 点</td><td>Y000～Y077
64 点</td><td>Y000～Y267
（Y177）
184 点（128 点）</td></tr>
<tr><td>辅助继电器 M</td><td colspan="2">M0～M499
500 点
通用①</td><td colspan="2">［M500～M1023］
524 点保存用②
继电器用
主→从［M800～M899］
从→主［M900～M999］</td><td colspan="2">［M1024～M3071］
248 点保存用③</td><td colspan="2">［M8000～M8255］
156 点
特殊用</td></tr>
<tr><td>状态 S</td><td colspan="2">S0～S499
500 点①
初始用 S0～S9
返回原点用 S10～S19</td><td colspan="3">［S500～M899］
400 点
掉电保持用②</td><td colspan="3">［S900～M999］
100 点
报警用③</td></tr>
<tr><td>定时器 T</td><td colspan="2">T0～T199
200 点 100ms
子程序用
T192～T199</td><td colspan="2">T200～T245
46 点 10ms</td><td colspan="2">［T246～T249］
4 点
1ms 积算③</td><td colspan="2">［T250～T255］
6 点
100ms 积算③</td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td colspan="2">16 位向上</td><td colspan="3">32 位可逆</td><td colspan="3">32 位高速可逆计数最大 6 点</td></tr>
<tr><td>C0～C99
100 点
通用①</td><td>［C100～C199］
100 点
保持用②</td><td>［C200～C219］
20 点
通用①</td><td>［C220～C234］
15 点
掉电保持用②</td><td>［C235～C245］
一相单向计数输入②</td><td>［C246～C250］
一相双向计数输入②</td><td colspan="2">［C251～C255］
二相计数输入②</td></tr>
</table>

注：［ ］内元件为电池备用区

① 非备用区。根据参数设定，可以变更非电池备用区；

② 电池备用区。根据参数设定，可以变更电池备用区；

③ 电池备用固定区，区域特性不能变更。

3．指令系统及编程

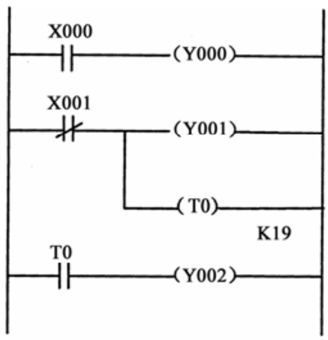
（1）LD，LDI，OUT 指令。

LD：常开接点与母线连接。

LDI：常闭接点与母线连接。

OUT：线圈驱动指令。

如图 7.4 所示为 LD，LDI，OUT 指令应用示例。



（a）梯形图

LD	X000
OUT	Y000
LDI	X001
OUT	Y001
OUT	T0
K	19
LD	T0
OUT	Y002

（b）语句表

图 7.4　LD，LDI 和 OUT 指令应用示例

LD，LDI，OUT 指令使用说明：

① LD、LDI 还可用于块操作指令分支回路的开始处；

② OUT 指令用于 Y，M，T，C，S 及 F（功能指令线圈），不能用于 X，并联输出 OUT 指令可连续使用任意次；

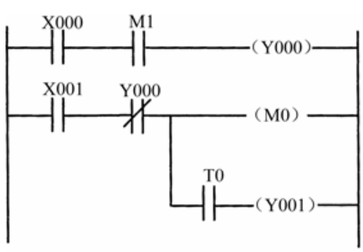
③ OUT 指令用于 T 和 C，其后须跟常数 K，K 为延时时间或计数次数。

（2）AND，ANI 指令。

AND：常开接点的串联连接。

ANI：常闭接点的串联连接。

如图 7.5 所示为 AND，ANI 指令应用示例。



（a）梯形图

LD	X000
AND	M1
OUT	Y000
LD	X001
ANI	Y000
OUT	M0
AND	T0
OUT	Y001

（b）语句表

图 7.5　AND，ANI 指令应用示例

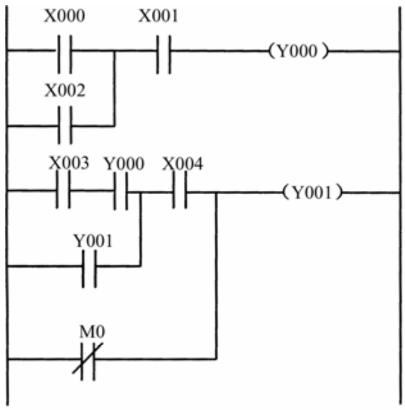
AND 和 ANI 指令所串联的接点数量不限，可连续多次使用 AND，ANI。

（3）OR，ORI 指令。

OR：常开接点的并联连接。

ORI：常闭接点的并联连接。

如图 7.6 所示为 OR 和 ORI 指令应用示例。



（a）梯形图

LD	X000
OR	X002
AND	X001
OUT	Y000
LD	X003
AND	Y000
OR	Y001
AND	X004
ORI	M0
OUT	Y001

（b）语句表

图 7.6　OR，ORI 指令应用示例

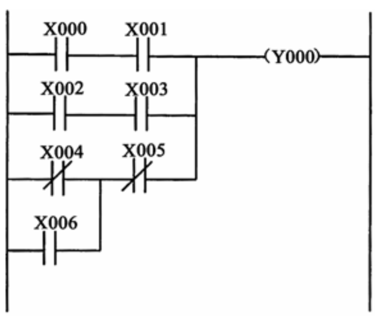
OR，ORI 指令使用说明：

① OR，ORI 指令为单个接点并联连接指令，紧跟在 LD，LDI 指令之后使用，并联的次数不受限制；

② 两个或两个以上接点的串联支路的并联，需用后面的指令 ORB。

（4）ORB 指令。ORB：串联支路（块）的并联连接。

如图 7.7 所示为 ORB 指令应用示例。



（a）梯形图

LD	X000
AND	X001
LD	X002
AND	X003
ORB	
LDI	X004
OR	X006
ANI	X005
ORB	
OUT	Y000

（b）语句表

图 7.7　ORB 指令应用示例

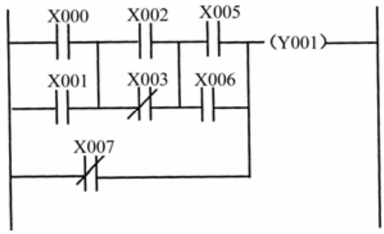
ORB 指令使用说明：

① 串联支路并联连接时，分支的开始用 LD，LDI 指令，分支结束用 ORB 指令；

② 串联支路并联的次数不受限制，但每并联一次就要用一次 ORB 指令。

（5）ANB 指令。ANB：并联回路（块）的串联。

如图 7.8 所示为 ANB 指令的应用示例。



（a）梯形图

LD	X000
OR	X001
LD	X002
ORI	X003
ANB	
LD	X005
OR	X006
ANB	
ORI	X007
OUT	Y001

（b）语句表

图 7.8　ANB 指令的应用示例

ANB 指令使用说明：

① 并联回路与前面的电路相串联时用 ANB 指令，并联回路的起点用 LD 或 LDI 指令，回路结束用 ANB 指令；

② 多个回路连续串联连接，按顺序用 ANB 指令进行连接，ANB 使用次数不受限制；

③ ANB 和 ORB 指令均不带目标元素。

（6）SET，RST 指令。

SET：置位指令，使线圈接通保持（置 1）。

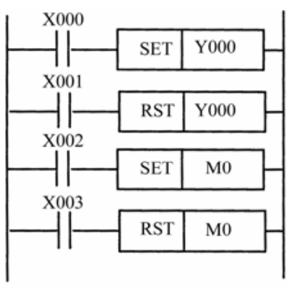
RST：复位指令，使线圈断开复位（置 0）。

指令使用说明：

① 对同一软件组，SET，RST 可多次使用，不限制使用次数，但最后执行者为有效；

② 对数据寄存器 D、变址寄存器 V 和 Z 的内容清零，既可以用 RST 指令，也可以用常数 K0 经传送指令清零，效果相同。

如图 7.9 所示为 SET/RST 指令的应用示例。



（a）梯形图

LD	X000
SET	Y000
LD	M0
SET	M0

（b）语句表

图 7.9　SET/RST 指令的应用示例

（7）MC/MCR 指令。

MC（Master Control）：主控指令，用于公共逻辑条件控制多个线圈，使主母线移到主控触点之后。

MCR（Master Control Reset）：主控复位指令，用于将母线复位。

MC，MCR 指令的使用说明如下：

① MC 指令母线后接的所有起始触点均以 LD 或 LDI 指令开始，最后由 MCR 指令返回到 MC 指令后的母线，向下继续执行新的程序；

② 在没有嵌套结构的多个主控指令程序中，可以都用嵌套级号 N0 来编程，N0 的使用次数不受限制。

如图 7.10 所示为 MC/MCR 指令的应用示例。

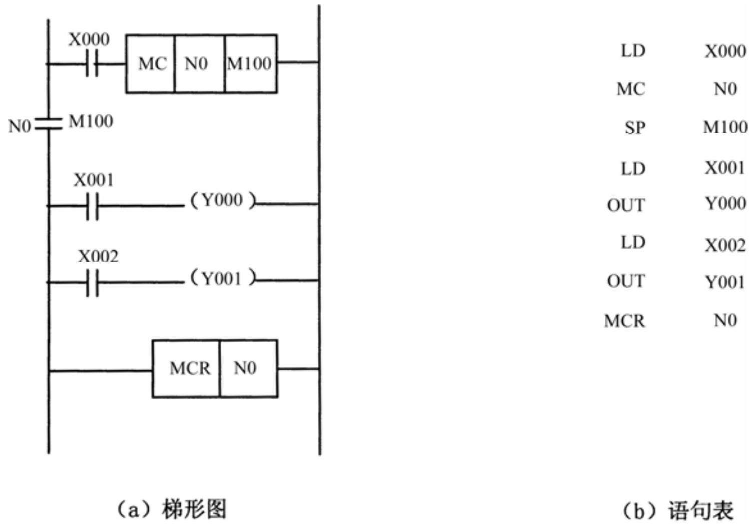


图 7.10 MC/MCR 指令的应用示例

（8）END 指令。

END：表示程序结束。

本指令是程序的最后一条指令，表示程序的结束。微处理器把输出状态寄存器的值送到输出电路以驱动相应的执行机构。

FX_{2N} 系列 PLC 的基本（顺控）指令共有 27 条，以上只是介绍其中的部分基本指令。

4．程序的输入、调试及运行

（1）PLC 的工作状态。PLC 有两种工作状态，即编程状态和运行状态。状态的选择是通过编程器上的方式选择开关及主机上的 RUN 开关状态决定的。若把编程器上的方式选择开关置在 PROGRAM，RUN 开关处于断开状态，即表示编程状态，基本单元上的 RUN 指示灯不发光，用户可以通过编程器的操作面板逐条输入语句，直至程序结束。若把编程器上的方式选择开关置在 MONITOR，RUN 开关处于闭合状态，即表示运行状态，PLC 运行用户输入到存储器中程序，基本单元上的 RUN 指示灯发光。

（2）程序的输入及修改。在输入新程序前首先要清除用户程序存储器的内容，然后再输入设计好的程序。

用户 RAM 清零步骤如图 7.11（a）所示。

程序的写入过程如图 7.11（b）所示。在输入过程中，如在按“WRITE/MONITOR”键之前需修改指令，可先按“INSTR”键，然后写入正确的指令；若在按“WRITE/MONITOR”键之后修改指令，需先按“STEP（－）”返回原指令，然后写入正确的指令。

程序输入后，对程序要逐条进行检查，如有错误，可采用“DELETE”（删除）及“INSERT”（插入）两个功能键进行修改。修改的方法为：查出错误的指令后先按

“DELETE”键，同时输入正确的指令，然后再按“INSERT”键即可。

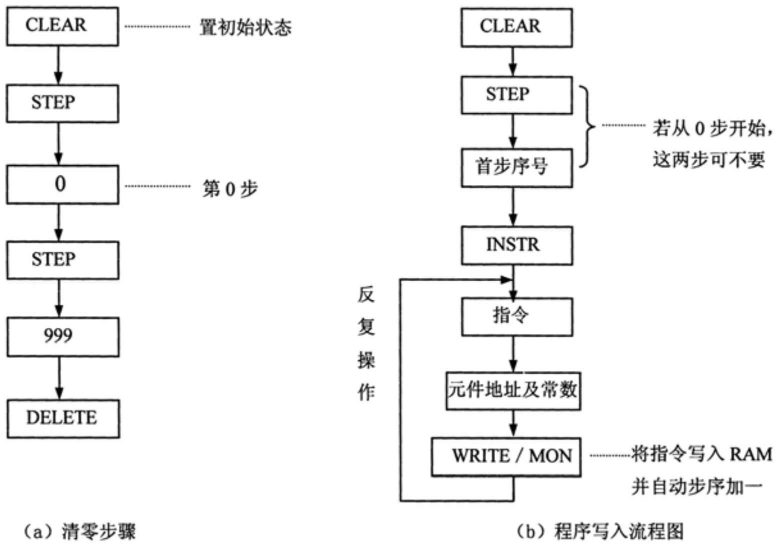


图 7.11　程序的输入

*7.4　PLC的程序设计

PLC 的程序设计方法通常采用梯形图设计法。梯形图类似于电气控制图的形式，非常直观易懂，一般工程人员极易掌握，是 PLC 通用的程序设计方法。尽管各种 PLC 的指令系统、指令的助记符不完全相同，但梯形图的设计方法基本相同。

7.4.1　梯形图的设计规则

梯形图设计时首先画出两条竖直方向的母线，再按从左到右、从上到下的顺序画好每一个逻辑行。在设计时还应注意如下几点。

（1）梯形图上所画触点状态，就是输入信号未作用时的初始状态。

（2）触点应画在水平线上，不能画在垂直线上。

（3）不含接点的分支应画在垂直方向，不可放在水平方向，以便于识别接点的组合和对输出线圈的控制路径。

（4）几个串联支路相并联时，应将串联接点最多的支路放在最上面；几个并联回路相串联时，应将并联接点最多的回路放在最左面。

（5）触点可以串联或并联；线圈可以并联，但不可以串联。

（6）接点只能画在线圈的左面，而不能放在线圈的右面。

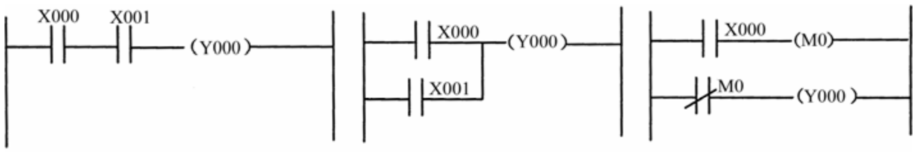
（7）梯形图中元素的编号、图形符号应与所用的 PLC 机型及指令系统相一致。

7.4.2　梯形图设计举例

根据控制要求画出梯形图的过程，就是梯形图的设计或编程过程。梯形图的设计方法很多，技巧也很强。下面介绍几个示例来说明梯形图的设计方法。

1．常用的电路环节

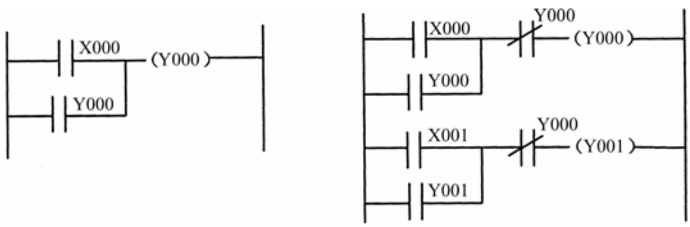
（1）与、或、非逻辑电路。如图 7.12（a）所示，只有 X000 和 X001 同时合上，Y000 才能得电，实现 X000 与 X001 两者之间“与”的功能。如图 7.12（b）所示，X000 与 X001 中只要有一个合上，Y000 便得电，实现“或”的功能。如图 7.12（c）所示，X000 合上，M0 得电，Y000 失电；而 X000 断开，Y000 得电，实现“非”的功能。



（a）逻辑与电路　（b）逻辑或电路　（c）逻辑非电路

图 7.12　“与”、“或”、“非”电路

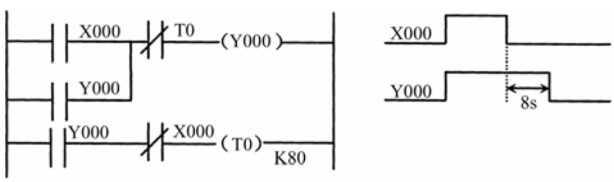
（2）自保持、互锁电路。如图 7.13（a）所示，X000 合上，Y000 得电并自保；X000 断开，Y000 仍然保持得电。如图 7.13（b）所示，若 X000 合上，Y000 得电；Y001 不可能得电；若 X001 合上，Y001 得电，Y000 不可能得电。达到 Y000 与 Y001 输出互锁的目的。



（a）自保持电路　（b）互锁电路

图 7.13　自保持、互锁电路

（3）瞬时接通、延时断开的电路。如图 7.14 所示，当 X000 合上时，Y000 得电并自锁，同时 X000 常闭接点断开，T0 不得电；X000 断开时，T0 得电并计时，从设定值开始递减，经 8 秒后，T0 的常闭接点断开，Y000 失电。

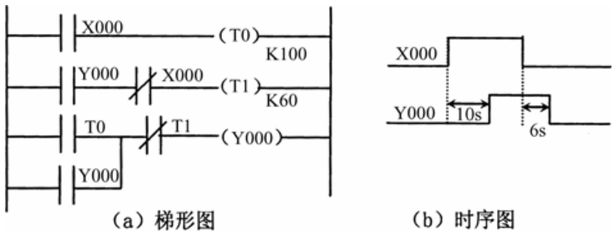


（a）梯形图　（b）时序图

图 7.14　瞬时接通、延时断开电路

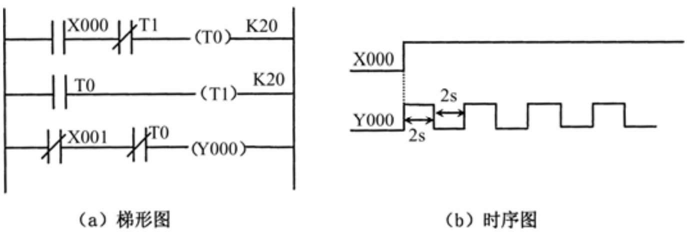
（4）延时接通、延时断开的电路。如图 7.15 所示，当 X000 合上 10 秒后，Y000 得电并自锁；当 X000 断开后，T1 得电，再经过 6 秒后，T1 常闭接点断开，Y000 失电。

（5）振荡电路。振荡电路又称闪烁电路，可产生通断交替变化的时序脉冲。如图 7.16 所示，当 X000 合上后，Y000 和 T0 得电；2 秒后 T0 常闭接点断开，Y000 失电。同时 T0 常开接点闭合，T1 得电，2 秒后 T1 的常闭接点断开，T0 的常闭接点复位，Y000 得电，T1 失电复原。



（a）梯形图　（b）时序图

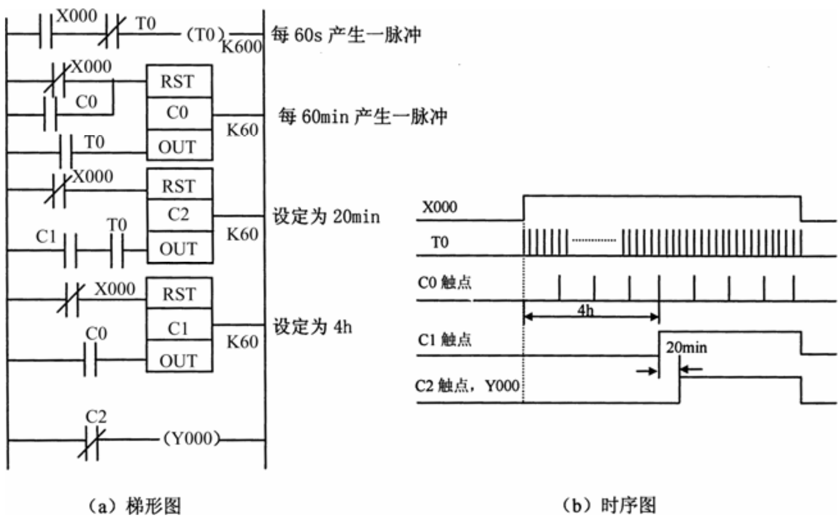
图 7.15　延时接通、延时断开电路



（a）梯形图　（b）时序图

图 7.16　振荡电路

（6）长延时电路。如图 7.17 所示，X000 接通，T0 开始工作，每 60 秒产生一个脉冲。另用 3 个计数器串联工作，C0 每 60 分钟产生一个脉冲，C1 设定值为 4 小时，C2 设定值为 20 分钟。因此，经过 4 小时 20 分钟后，Y000 得电，达到长延时的目的。



（a）梯形图　（b）时序图

图 7.17　长延时电路

2．通风机监示程序设计

控制要求：对操作条件“选择装置”来说，如果 3 个风机中有两个在运转，信号灯就持续发光；如果有一个风机运转，信号灯就以 0.5Hz 的频率闪光；如果一个风机也不转，信号灯就以 2Hz 的频率闪光；如果“选择装置”不运转，信号灯就熄灭。

梯形图设计分析：

（1）3 个条件信号：风机 1、风机 2、风机 3。

（2）输出信号 4 种状态及其对应的不同情况（即几种逻辑关系）：

① 风机中有两个在运转——持续发光；

② 只有一个风机在运转——0.5Hz 频率闪光；

③ 没有风机在运转——2Hz 频率闪光；

④ 选择装置不运转——熄灭。

（3）输入、输出元素分配及其他元素使用如下：

X000——风机 1；

X001——风机 2；

X002——风机 3；

X003——选择装置；

M100——中间继电器；

M101——中间继电器；

M200——0.5Hz 信号；

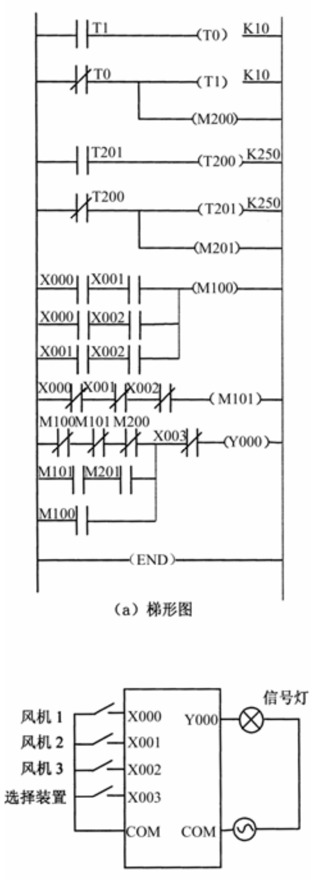
M201——2Hz 信号；

Y000——信号灯；

T0，T1——产生 0.5HZ 信号的定时器；

T200，T201——产生 2Hz 信号的定时器。

梯形图、语句表及外部接线图如图 7.18 所示。



（a）梯形图

（b）外部接线图

语句表：

```
LD    T1
OUT   T0
K     10
LDI   T0
OUT   T1
K     10
OUT   M200
LD    T201
OUT   T200
K     250
LDI   T200
OUT   T201
K     250
OUT   M201
LD    X000
AND   X001
LD    X000
AND   X002
ORB
LD    X001
AND   X002
ORB
OUT   M100
LDI   X000
ANI   X001
ANI   X002
OUT   M101
LDI   M100
ANI   M101
ANI   M200
LD    M101
AND   M201
ORB
OR    M100
ANI   X003
OUT   Y000
END
```

（c）语句表

图 7.18　通风机监示系统图

3．交通灯控制程序设计

（1）控制要求。十字路口交通灯的控制状态时序图如图 7.19 所示。设启动按钮为 X000，停止按钮为 X001。开始时东西向为绿灯亮，南北向为红灯亮。

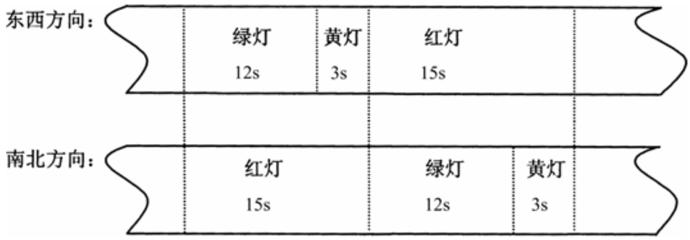


图 7.19　交通灯控制状态时序图

（2）梯形图设计分析。

① 输入、输出分配：启动按钮——X000

停止按钮——X001

② 东西向指示灯：绿——Y000，定时器——T0；

黄——Y001，定时器——T1；

红——Y002，定时器——T2；

③ 南北向指示灯：红——Y003，定时器——T3；

绿——Y004，定时器——T4；

黄——Y005，定时器——T5。

设计时要注意各指示灯的顺序、自保持及互锁关系。梯形图及外部接线如图 7.20 所示。

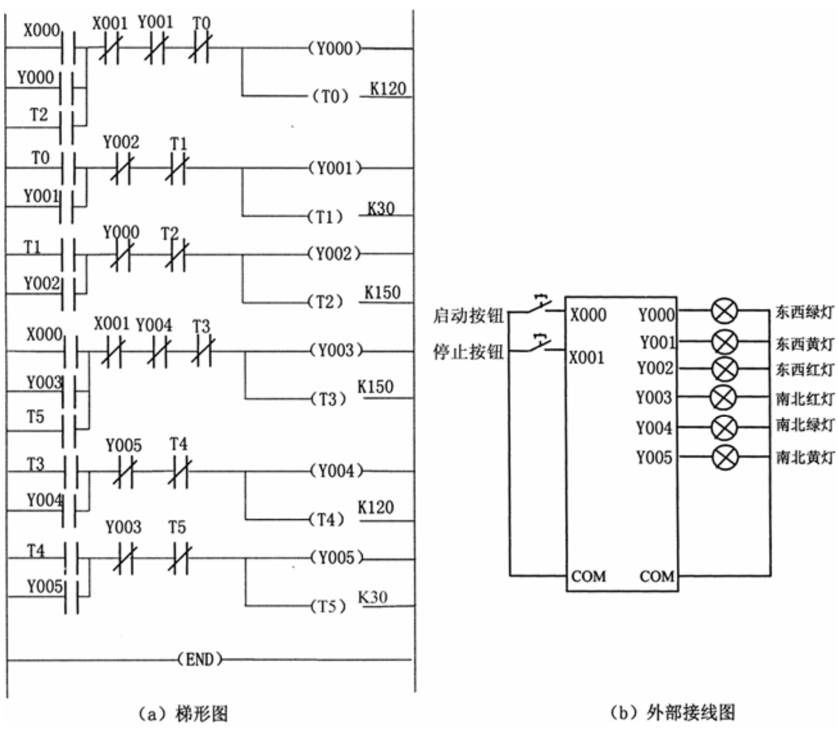


图 7.20　交通灯梯形图及外部接线图

*7.5 可编程序控制器的应用

7.5.1 PLC 应用系统的设计

1. PLC应用系统设计步骤

（1）根据生产的工艺过程分析控制要求。
（2）根据控制要求确定所需的用户输入、输出设备，确定 I/O 点数。
（3）选择 PLC。
（4）分配 PLC 的 I/O 点，设计 I/O 连接图。
（5）进行 PLC 程序设计，同时可进行控制台的设计和现场施工。

2. PLC程序设计步骤

（1）对复杂的控制系统需绘制系统控制流程图。
（2）设计梯形图。
（3）列出程序清单。
（4）输入程序并进行检查。
（5）对程序进行调试和修改，直到满足要求为止。
（6）进行现场联机调试。
（7）编制技术软件。
（8）交付使用。

3. PLC应用系统设计内容

（1）选择用户输入设备输出设备以及输出设备驱动的控制对象。
（2）PLC 的选择。
（3）分配 I/O 点，绘制 I/O 连接图。
（4）设计控制程序。
（5）必要时还需设计控制台。
（6）编制控制系统的技术软件（说明书、电气图、电气元件明细表等）。

7.5.2 PLC控制系统的安装

PLC 的安装是 PLC 使用中的重要环节，安装质量的好坏直接影响着 PLC 的工作可靠性和使用寿命。一般 PLC 工作在环境比较恶劣的工业现场，最好安装在有保护外壳的封闭控制柜中，这样既安全美观，又能适当改善 PLC 的工作环境。

1. PLC安装的基本原则

（1）安全。要求 PLC 安装牢固，接线正确、可靠；导线无破损、无毛刺，线头无碰壳、无裸露；有接地、短路、过载、过压、欠压等安全保护措施；有紧急停车装置等。

（2）规范。要求安装、布线符合电气安装标准；并要求各项安装参数符合 PLC 的性能

标准。

2．PLC安装的步骤

（1）详细阅读 PLC 的使用说明书，了解其性能指标，明确安装环境。

（2）分析控制过程，明确控制要求，搞清软、硬件的对应关系。

（3）根据 PLC 的型号、所用外围元器件的多少及布线特点，综合设计配电柜的大小和形状，并根据 PLC 及其外围元器件的位置预留安装孔和通风孔。

（4）初步安装相关的外围电器设备。

（5）PLC 机体固定方法，有螺钉直接固定法和 DIN 轨道固定法两种。

（6）硬件接线，要注意 PLC 的电源接线、RUN/STOP 接线、输入/输出端子的接线、地线以及相应的公共接线端子（COM）的连接等。

（7）检查、复核、整理。

（8）通电试运行。

7.5.3　PLC应用中的其他问题

1．日常维护

PLC 在设计时采用了多种多样的保护措施，其稳定性、可靠性、适应性都较强。通常情况下，只要对 PLC 进行简单的维护和检查，就可以保证 PLC 控制系统长期不间断地正常工作。对 PLC 的日常维护主要有以下几方面内容。

（1）定期检查及处理。PLC 的工作环境对 PLC 的影响是很大的。PLC 工作一段时间后必须进行检查，对其交流电源电压及稳定度、控制性能、安装条件及使用寿命都要进行相应的检查。若发现不符合要求的情况，应及时调整、更换和修复。

（2）日常清洁与整理。注意 PLC 的表面及导线间干净、整洁；经常巡视 PLC 的工作状态、自诊断指示信号、编程器（显示屏）的监控信息及控制系统的运行情况，并进行记录。如发现问题应及时处理。

（3）锂电池的更换。PLC 中锂电池的使用寿命通常为 5 年，当锂电池电压逐渐降低到规定值时，基本单元上的电池电压跌落指示灯就会亮，应及时更换锂电池。更换步骤如下：

① 准备好一个新的锂电池；

② 将 PLC 通电一定时间（约 10s），让存储器中备用电源的电容充电；

③ 断开 PLC 的交流电源；

④ 打开基本单元的电池盖板；

⑤ 从支架上取下旧电池，迅速换上新电池，时间不超过 3 分钟；

⑥ 盖上电池盖板。

2．故障诊断与排除

PLC 具有一定的自诊断功能，可通过 PLC 的基本单元上的相应指示二极管来确定 PLC 的自身故障或外部设备故障，再根据具体情况来排除故障，恢复 PLC 的正常工作。常见的情况有如下几种。

（1）电源指示灯（POWER）。PLC 的工作电源接通并符合要求时，该灯常亮；否则说明电源有故障。

（2）运行指示灯（RUN）。当 PLC 处于运行状态，即基本单元的“RUN”端子与“COM”端子的开关接通，“STOP”端子与“COM”端子的开关打开时，则该灯常亮；否则说明 PLC 机接线不正确或 CPU 芯片或 RAM 芯片有问题。

（3）锂电池电压指示灯（BATT・V）。锂电池电压正常时，该灯不亮；若该灯亮，说明锂电池电压已下降到规定值以下，提醒工作人员在规定时间内更换锂电池。

（4）程序出错指示灯（CPU・E）。当 PLC 的硬件和软件都正常时，该灯不亮；当发生故障时，若该灯闪烁，则说明可发生下列错误：

① 程序出错，如程序语法错误、线路错误及定时器、计数器的常数 *K* 丢失或超值等；

② 锂电池电压不足；

③ 由于噪声干扰或线间短路等引起的 PLC 机内“求和”检查错误。

若是该灯一直发光，则说明可能发生下列错误：

① 由于外来浪涌电压瞬时加到 PLC 内，引起程序执行错误；

② 程序执行时间大于 0.15s，引起监视器动作。

（5）输入指示灯。基本单元中有多少个输入接线端子，则相应地就有多少个输入指示灯。输入端子加上正常的输入时，相应的输入指示灯就亮；若正常输入而灯不亮或未加输入而灯亮，则输入电路有故障。

（6）输出指示灯。基本单元中有多少个输出接线端子，则相应地就有多少个输出指示灯。按照控制程序，当某个输出继电器得电时，该继电器的输出指示灯就亮；若某个输出继电器指示灯亮而该回路负载不动作，或输出继电器线圈未得电而指示灯亮，说明输出电路有问题。

3．通信联网

目前随着通信技术、计算机技术、自动控制技术的迅猛发展，计算机及 PLC 在工厂自动化中的作用更加显著。为充分发挥计算机和 PLC 的工作效能，达到传输信息、共享资源、分散控制集中管理的目的，按照一定的通信协议，通过特定的传输介质，把 PLC 与 PLC、或 PLC 与计算机联成一个网络，这就是 PLC 系统的通信联网。其中 PLC 与计算机之间的网络联结称为上位联结系统，通用计算机称为上位计算机。系统中 PLC 直接面向现场、面向设备，进行实时控制，上位计算机主要完成数据处理、修改参数、图像显示、打印报表、文字处理、系统管理、编制 PLC 机工作程序、工作状态监控等任务。PLC 与 PLC 之间的网络联接，称为下位联结系统。系统中 PLC 都直接面向被控对象，进行实时控制，同时它们之间可以传递信息。

4．位置控制中的应用

现在 PLC 都具有位置控制（或称运动控制）功能，利用各种专用的位置控制模块，将运动控制、顺序控制逻辑控制有机地结合在一起，实现系统要求的各种功能。目前用 PLC 实现的运动控制系统已大量地应用于柔性制造系统（FMS）和计算机综合制造系统（CIMS）。下面介绍三菱 F1 系列 PLC 运动控制模块和运动控制单元在运动控制系统中的应用。

（1）F－20CM 位置控制单元。该单元内有一片 CPU，可与 F，F1 和 F2 配用，一台 F1－40MR 可以带两个 F－20CM。

系统工作时 PLC 向 F－20CM 发出各种指令，由 F－20CM 控制单元接受位置传感器的脉冲信号和手动控制信号，决定是否需要减速或停车；向调速装置发出向前、向后、高速、低速和停车命令，再将系统的运动状态提供给 PLC，PLC 根据这些信息决定对整个系统的控制。

F－20CM 最多可以实现 10 段共 400 步的连续定位，它还有惯性补偿和精度判别等功能。

（2）F2－30GM 步进电机/伺服电机控制器。该控制装置可以控制步进电机，实现开环点位控制，也可以控制伺服电机，实现闭环点位控制。它有 7 个通用的输入点和 7 个通用的输出点，有定位控制、逻辑控制和顺序控制指令。对于不太复杂的系统，用一台 F2－30GM 就可以完成定位控制和逻辑控制；对于多轴和复杂的系统，它通过与 PLC 之间的信息交换，成为 PLC 控制系统中的定位控制单元。

【内容检核】

（1）PLC 是一种专为工业环境下应用而设计的电子系统；它主要由微处理器、输入/输出单元、存储器及各种接口组成，各部分之间通过总线连成一个整体。

（2）PLC 按照扫描的方式进行工作，一个扫描周期分 3 个阶段进行，即输入采样阶段、程序执行阶段、输出刷新阶段。各个阶段完成不同的任务，周而复始直至停机。

（3）通常 PLC 按照结构形式、I/O 点数以及功能的不同可以分成不同的类别。由于 PLC 自身的特殊性，使用中主要有 8 个特点。

（4）三菱 FX_{2N} 系列 PLC 由基本单元、扩展单元、扩展模块及特殊功能单元构成。

（5）PLC 应用于控制系统中要注意把握系统的设计步骤、设计内容以及后期的安装、调试工作。另外，应用中注意 PLC 的日常护理及检查、记录。

* 三菱 FX_{2N} 系列 PLC 的元素可分为内部元素和外部元素，且特定的元素其编号范围也是特定的。其基本指令共有 27 条。本章介绍了部分常用指令，以及梯形图的编程方法。



思考与练习

1．PLC 的全称及定义是什么？

2．PLC 主要由哪几部分组成的？

3．简述 PLC 的工作过程。

4．简述 PLC 按照不同的标准可分成哪几类。

5．简述 PLC 的特点。

6．指出 FX_{2N}－40MR，FX_{2N}－20ER 的型号含义。

7．PLC 提供的元素主要有哪些？

8．梯形图是什么？用梯形图编程时应注意哪些问题？

9．根据图 7.21 所示梯形图写出语句表。

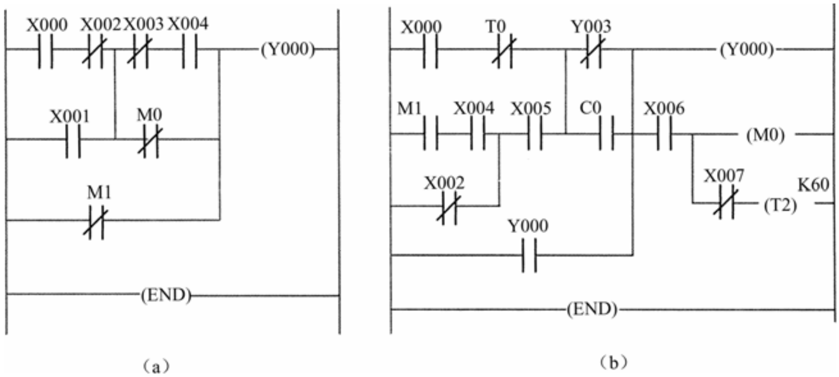


图 7.21　梯形图

10．根据图 7.22 所示指令表做出梯形图。

指令表 1：		指令表 2：					
LD	M200	LD	X000	LD	T0	LD	X001
ORI	X000	ANI	T0	OUT	C1	ANI	X000
LD	X001	OUT	T0	K	50	ORB	
ANI	X002	K	20	LD	X001	OUT	Y001
LD	M315	LD	X001	OR	C3	LD	X000
AND	X003	OR	C3	RST	C3	ANI	C1
ORB		RST	C0	LD	T0	ANI	X002
ANB		LD	T0	OUT	C3	ANI	C3
OR	M101	OUT	C0	K	30	LD	X002
ANI	M102	K	60	LD	X00	ANI	X000
OUT	M105	LD	X001	ANI	C0	ORB	
END		OR	C3	ANI	X001	OUT	Y002
		RST	C1	ANI	C3	END	

图 7.22　指令表

11．PLC 应用系统的设计步骤、设计内容主要有哪些？

12．PLC 机的接线包括哪些内容？各种接线有什么用途？

13．PLC 机的日常维护主要有哪些内容？

14．如何更换 PLC 机的锂电池？

15．PLC 的安装步骤包括哪些内容？

16．主持人一个开关控制三个抢答桌。当主持人说出题目，谁先按下按钮，谁的桌子上灯即亮；抢答完毕后，主持人按下按钮进入下一轮抢答。三个抢答桌子的按钮是这样安排的：第一个桌子是儿童组，桌上有两只按钮，并联形式；第二个桌子是中学生组，桌上只有一只按钮，一按即亮；第三个桌子是教师组，桌上有两只按钮，串联形式，两按钮同时按下灯才亮。主持人开关处于接通 10s 之内有人抢答并按钮，电铃响；否则无效。试设计梯形图、语句表，并画出 PLC 的外部硬件接线图。

实验 7.1　可编程序控制器的认识实验

【实验目的】

① 熟悉 FX_{2N} 系列 PLC 的外部结构，并进一步了解 PLC 的内部结构。

② 熟练掌握外部设备与 PLC 之间的硬件接线。

③ *了解 FX-20P 简易编程器的使用方法。

④ *进一步熟练掌握 FX_{2N} 系列 PLC 的指令系统。

【实验器材】

① FX_{2N} 系列 PLC 机 1 台套。

② 常用输入电器（按钮、行程开关等）、输出电器（指示灯、接触器、电机等）数只。

③ 开关量输入电路板 1 块

④ 连接导线一套。

【实验步骤与内容】

① 熟悉小型 PLC 的外部结构，对其内部结构有一定的认识。

② 熟悉 FX-20P 简易编程器及其使用。

③ 掌握 PLC 的外部接线方式。外部接线方式如图 7.23 所示。

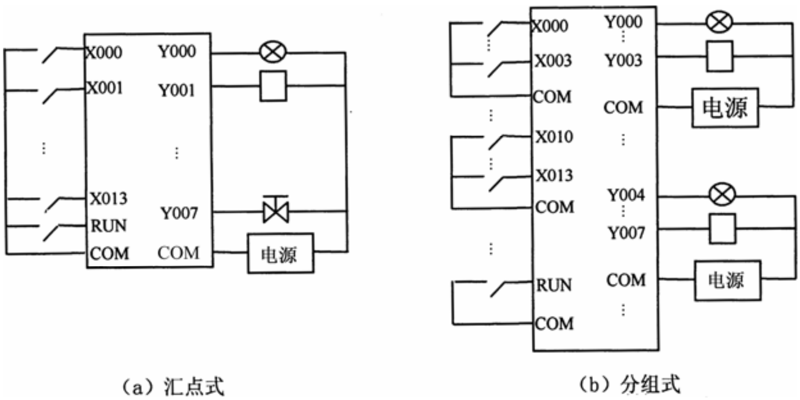


图 7.23　外部接线图

④ 选择 PLC 的工作状态，按图 7.24 所示梯形图输入程序。

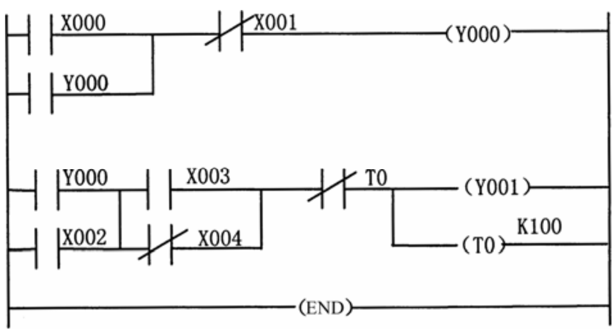


图 7.24　梯形图

⑤ 检查修改程序。

⑥ 模拟运行程序，并记录观察结果。

⑦ 关机拆线。

⑧ 整理工具。

【分析与思考】

① 小型 PLC 硬件系统主要由哪几部分组成的？

② PLC 的输入/输出端子有哪几种接线方式？

③ 学习过的基本指令主要有哪些？

④ PLC 机的工作状态有哪两种？如何实现的？

⑤ 在输入新程序之前为什么一般都要对 RAM 清零？

技能训练 7.1　可编程序控制器的应用

【训练要求】

① 学习观察可编程序控制器应用中若干问题的处理方法。

② 学会可编程序控制器应用系统的设计步骤、内容。

③ 掌握可编程序控制器控制系统的安装方法。

【训练工具】

万用表、钢丝钳、螺丝刀、剥线钳等。FX_{2N}－40MR 控制器及 FX－20P 编程器一套、指示灯、按钮开关、连接导线、按钮盒、接线柱等。

【训练项目】

抢答显示控制系统的设计。控制要求：一个四组抢答器，任一组先按下按钮后，则该组的指示灯发光，并封锁其余三组；按下复位按钮后，指示灯灭，进入下一轮抢答。

【训练步骤】

① 熟悉小型 FX_{2N} 系列可编程序控制器的应用系统的设计步骤、内容及控制系统的安装方法；

② 根据控制要求写出输入/输出量的分配表，绘出抢答控制系统的电路连接图；

③ 根据输入/输出量分配表、抢答控制系统的电路图进行安装连接；

④ 根据控制要求编写抢答控制程序；

⑤ 进行调试，直到符合控制要求；

⑥ 编写设计报告。

*技能训练 7.2　电梯的控制设计

【训练要求】

① 了解一般电气控制设计过程、设计要求，应完成的工作内容和具体设计方法；

② 熟练掌握 PLC 的基本指令、功能指令的综合应用；

③ 掌握 PLC 与外围控制电路的实际接线方法；

④ 掌握 PLC 程序的运行方法以及编程元件、应用程序的监视方法；

⑤ 掌握随机逻辑程序的设计方法。

⑥ 绘制电梯模拟控制板示意图；

⑦ 绘制 PLC 的硬件接线图、控制系统的梯形图（语句表）；

⑧ 设计说明书一份，包括以下内容：

a）控制系统控制任务总体方案的分析；

b）PLC 机型、输入/输出设备的选择及说明；

c）控制系统的外部输入/输出接线的说明；

d）控制系统梯形图的绘制说明。

【训练项目】

① 电梯上行设计要求。

a）当电梯停于 1 楼（1F）或 2F、3F 时，4F 呼叫，则上行，到 4F 碰行程开关后停止；

b）电梯停于 1F 或 2F，3F 呼叫时，则上行，到 3F 行程开关控制停止；

c）电梯停于 1F，2F 呼叫，则上行，到 2F 行程开关控制停止；

d）电梯停于 1F，2F、3F 同时呼叫，电梯上行到 2F，停 5s，继续上行到 3F 停止；

e）电梯停于 1F，3F、4F 同时呼叫，电梯上行到 3F，停 5s，继续上行到 4F 停止；

f）电梯停于 1F，2F、4F 同时呼叫，电梯上行到 2F，停 5s，继续上行到 4F 停止；

g）电梯停于 1F，2F、3F、4F 同时呼叫，电梯上行到 2F，停 5s，继续上行到 3F，停 5s，继续上行到 4F 停止；

h）电梯停于 2F，3F、4F 同时呼叫，电梯上行到 3F 停 5s，继续上行到 4F 停止。

② 电梯下行要求。

a）电梯停于 4F 或 3F 或 2F，1F 呼叫，电梯下行到 1F 停止；

b）电梯停于 4F 或 3F，2F 呼叫，电梯下行到 2F 停止；

c）电梯停于 4F，3F 呼叫，电梯下行到 3F 停止；

d）电梯停于 4F，3F、2F 同时呼叫，电梯下行到 3F，停 5s，继续下行到 2F 停止；

e）电梯停于 4F，3F、1F 同时呼叫，电梯下行到 3F，停 5s，继续下行到 1F 停止;，

f）电梯停于 4F，2F、1F 同时呼叫，电梯下行到 2F，停 5s，继续下行到 1F 停止；

g）电梯停于 4F，3F、2F、1F 同时呼叫，电梯下行到 3F，停 5s，继续下行到 2F，停 5s，继续下行到 1F 停止。

③ 各楼层运行时间应在 15s 以内，否则认为有故障；

④ 电梯停于某一层，数码管应显示该层的楼层数；

⑤ 电梯上、下行时，相应的标志灯亮。

【训练步骤】

① 详细分析被控对象，控制过程与要求，熟悉工艺流程，列出该控制系统的全部功能和要求，制定控制方案；

② 根据被控对象对 PLC 控制系统的技术指标和要求，确定用户所需的输入/输出设备，据此确定 PLC 的 I/O 点数；

③ PLC 机型及输入/输出设备的选择；

④ 列出输入/输出设备与 PLC 的 I/O 端子的对照表；

⑤ 设计 PLC 应用系统电气图纸；

⑥ 绘制程序流程框图，以编程指令为基础，画出程序梯形图，编写程序注释；

⑦ 根据电气接线图安装接线，将程序送入 PLC 的用户程序存储器，进行总调试及运行；

⑧ 编写设计说明书。

第 8 章　电气CAD软件及其应用

学习目标

◆ 知识目标　了解电气绘图软件的基本操作和使用方法，掌握电气图的主电路、控制电路的绘制，能自动生成元器件布置图。

◆ 能力目标　能独立完成电气图的主电路和控制电路的绘制，对导线进行编号以及对生成的元器件布置图进行修改。结合实际电路熟悉布线的规则和原理图的功能。

重点和难点

◆ 重点　标准设计方案的建立和电气图的主电路、控制电路的绘制工作；对原理图进行导线编号；布置接线端子和标明电缆型号等。

◆ 难点　编辑和创建新符号；增添对应的外观符号；自动生成元器件布置图及其相关修改。

8.1　PCschematic ELautomation软件入门

PCschematic ELautomation 是用于电气和电子类设计的专业电气绘图软件。它是基于 Windows 环境平台的 CAD 软件，由丹麦的软件开发小组 DPS CAD-center Aps 历经十多年开发而成。软件程序中使用了 DPS CAD-center Aps 专用的图形文件格式 PRO 和 SYM，它也可以输入其他 CAD 应用程序格式的文件，如 DWG 和 DXF 格式的文件；它还可以把 PRO 格式的文件输出为 DWG 或 DXF 格式的文件。

8.1.1　软件特点

PCschematic ELautomation 软件非常适合于自动化项目或电气工程的设计绘图，它不仅有单机版还有网络版，可同时满足单个用户或大型用户的不同需求。目前本软件有多种语言版本，如中文简体、中文繁体、英文、丹麦文、德文等。

1．面向对象的设计方案

一个设计方案的所有图纸，都以页面的形式包含在一个文件中，可通过单击相应的标签来实现在不同的页面间切换。除了电气原理图外，一个设计方案中还包含了元件的外形布置图、零部件和元件清单、其他类型的清单、元件的配线图等。在完成电气原理图后，其他的图纸可以被自动创建出来。

2．设计检查

电气原理图中的绘图错误，都可以使用设计检查功能自动检查出来。

3．实时更新参考

设计方案中所有页面上的符号间都有实时更新参考。如布置一个接触器的线圈符号时，在这个符号旁边会自动创建一个参考十字，这个参考十字中的内容会根据这个接触器的其他电气符号所处的页面位置自动更新。在插入、删除或移动其他符号时，参考十字中的内容都会被立即更新。同名的信号线之间也会自动创建出参考，并实时更新。

4．参考指示和导线编号

做一个大型的实际方案时，可以使用参考指示功能。可以为一张页面上的所有符号，或页面上某一个区域上的符号，分配一个参考指示，指定它们属于设计方案的某一部分；可以自动分配设计方案中的导线编号或电势号，也可以人工单独指定。

5．设计方案信息

关于设计方案的一些信息，如用户信息、设计的日期、设计者等，可以保存在设计方案数据选项中，并会自动填充到设计方案的页面模版中。当然，这些信息也是实时更新的。

6．符号和数据库

软件中包含了几千个符合 IEC 标准和 GB 标准的电气符号，包括自动化、建筑安装、流体力学、气体力学、流程图、PLC、传感器、变送器、自动楼宇安装等方面。使用这些符号可以快速地画出电气原理图，也可以创建自己的符号，把它加入到符号库中。有一些业内领先的元器件供应商，如 ABB，SIEMENS，SCHNEIDER，OMRON 等，已经建立了自己的元件数据库，其中包含了元件的 EAN 编号、描述、供应商和价格等信息。这些数据库中的每个元件都有自己的电气和外观符号。使用这些数据库时，就自动得到了这些元件的电气和外观符号。

7．自动更新所有清单

使用数据库绘制电气原理图时，每布置一个电气符号，元件的项目数据信息都会附加到布置的符号上。这些信息可以自动地传送到零部件或元件清单中，并可以实时更新。这些清单包括零部件清单、元件清单、PLC 清单、电缆清单、接线端子清单、连接清单等，所有这些清单都可以自动创建，不需要人工输入。

8．自动创建配线图

画出电气原理图后，可以自动生成元件之间的配线图。

9．翻译功能

可以把设计方案中的文字翻译成其他国家的文字。

10．自动的PLC功能

程序支持用户自定义的 PLC I/O 输出到 PLC 编程工具，也可以从 PLC 编程工具输入用户自定义的 PLC I/O。

11．安装和布置图

使用软件中的一些特殊符号，如建筑安装、流体力学、气体力学、流程图、智能楼宇安装等，可以很方便地画出元件和设备的安装布置图。图纸可以包含多达 255 层，有三维坐标，因此可以在不同的高度上布置元件，并生成三维图像。

8.1.2 PCschematic ELautomation的安装、启动和菜单介绍

1．系统需求

PCschematic 是一个独立开发的电气 CAD 软件。所以，它不需要任何其他辅助程序，就能够独立运行此软件。这个程序对硬件的最低要求为 CPU 主频 500MHz、内存 128MB 以上、SVGA 显示器、操作系统为 Windows 98 以上版本。

2．安装

要安装本软件，最好先关闭其他正在运行的程序。试用版安装的具体步骤如下：

（1）把 Pcschematic 光盘插入到光驱中，稍后会自动显示安装画面；

（2）单击安装 PCschematic，按照指示操作，直到安装完成。

3．启动PCschematic软件

操作顺序为：开始→程序→PCschematic→PCschematic ELautomation Demo，单击它即可以启动本软件，如图 8.1 所示。

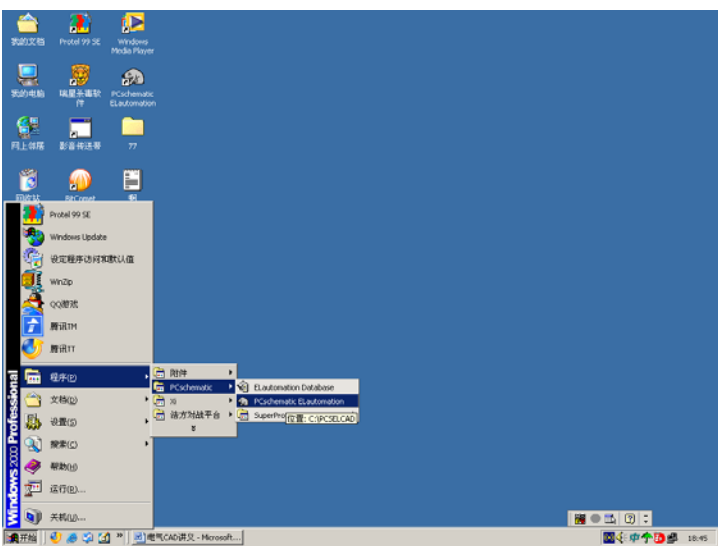


图 8.1 启动 PCschematic 软件操作示意图

4．退出PCschematic软件

打开 PCschematic 窗口的文件菜单，选取其中的退出选项，可退出；也可以通过双击图框右上方的控制钮退出。如图 8.2 所示。如果有修改过而未保存的文件，那么当试图退出时，程序会出现提示，询问是否保存对原文件的修改。单击“是”按钮则保存，单击“否”按钮则放弃，单击“取消”按钮表示不退出 PCschematic。

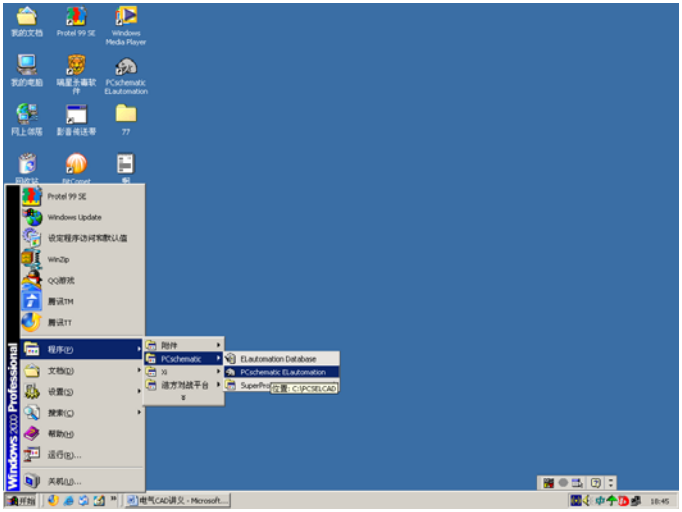


图 8.2　退出 PCschematic 软件操作示意图

8.1.3　软件界面介绍

启动程序后，可以选择是新建一个设计方案，还是打开一个已有的设计方案。如果不想打开一个设计方案，就选择“文件→新建”项，或单击“新建文件”按钮。

这时会显示设置对话框，如图 8.3 所示。其中包含了设计方案数据、页面数据、页面设置三个选项。可以在这里输入此设计方案的数据信息，以及指定图纸的页面设置和使用图纸模版等。

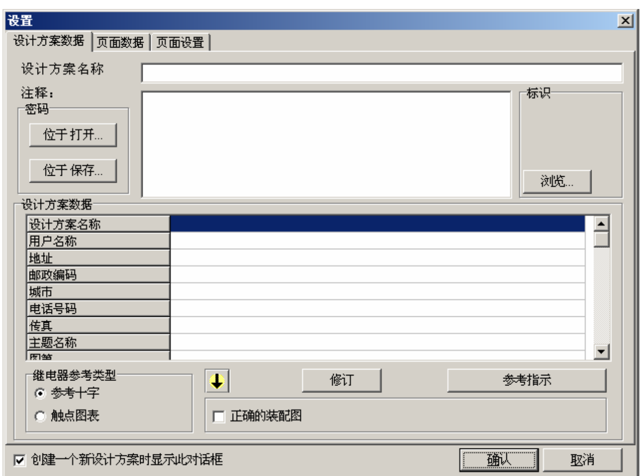


图 8.3　设置对话框

单击“取消”按钮、“确认”按钮或按下 Esc 键，都可以退出对话框。

本软件采用下拉式菜单的 Windows 风格，和平时见到的窗口式环境软件一样。打开一个设计方案时，屏幕如图 8.4 所示。

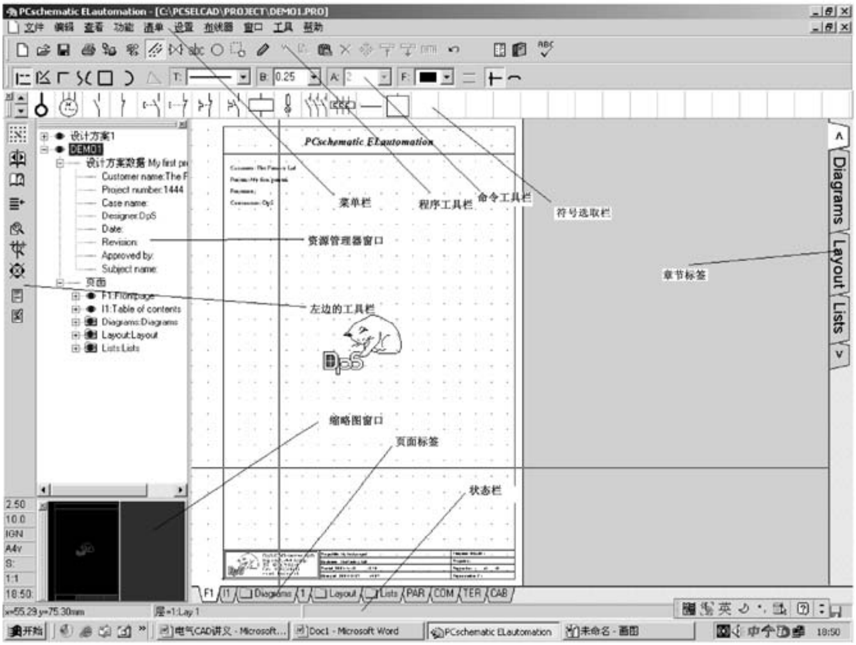


图 8.4　应用程序界面

其中各部分简要说明如下。

1．菜单栏

菜单栏包含程序中所有功能的菜单。

2．工具栏中包含程序按钮

在这里可以选择不同的程序功能。这里布置了最常用的文件和打印功能，以及常用的绘图和编辑工具。

3．命令工具栏

命令工具栏会根据在程序工具中所选的对象类型有不同的显示。它包含针对不同绘图对象，线、符号、文本、圆和区域的功能和编辑工具等。

4．符号选取栏

在这里可以布置一些最常用的符号，以便随时使用，添加到图纸上。单击选取栏左边的箭头，可以在不同的选取栏菜单间切换。

5．帮助框

帮助框显示出图纸的标准边距。它可以被关闭，也可以激活打印机帮助框。

6. 资源管理器窗口

在这里可以显示出设计方案信息，以及设计方案页面的缩略图。单击设计方案页面前的“眼睛”符号，相应的页面就会显示在屏幕上。所以激活的设计方案都会显示在资源管理器窗口中。

7. 左侧工具栏

左侧工具栏包含一些页面功能和缩放功能，其下包含有页面设置的信息。

8. 工作区域

屏幕的工作区域对应于所选取的图纸大小。

9. 缩略图窗口

缩略图窗口中显示出了整个页面的缩略图。当前屏幕上的页面部分，会以一个黑色的方框显示。

10. 状态栏

在这里可以看到坐标和层的标题，以及不同的提示文本信息。当鼠标指针停留在屏幕的一个按钮上，就会显示相应的解释文本。

11. 电路号

电路号显示在两个不同的位置：在设计方案中指定的位置，以及屏幕的下方。放大图纸的一部分时，电路号仍会显示在屏幕的下方。

12. 页面标签

单击页面标签，可以在不同的页面间切换。

13. 滑动条

放大一个区域后，可以拖动滑动条来移动区域。

14. 章节标签

单击章节标签，可以跳转到所选章节的第一页。

8.1.4 屏幕/图像功能

此节介绍了和屏幕有关的一些功能，相应的功能按钮都布置在左面的工具栏中。

1. 图像缩放功能

在 PCschematic ELautomation 中，可以决定在屏幕上显示页面的哪些部分。需放大页面的某一部分时，可以单击缩放按钮（或快捷键 Z），再用鼠标在屏幕上选取一个区域，然后按以下方法操作：

（1）单击并按住鼠标左键；

（2）拖动鼠标，在屏幕上选取需要的区域，松开鼠标键，选取的区域会被放大。

选择“查看→缩放”，也可以达到同样的结果。另外，鼠标的滚轮也可以用于缩放页面。

2．看完整画面和刷新

单击“缩放到页面”按钮，屏幕上会显示出完整页面。选择“查看→看完整画面”也可达到同样的效果。刷新屏幕上的图像，可以通过单击“刷新”按钮实现，也可以选择“查看→刷新”达到。这样做会更新屏幕上的图像及缩略图窗口。

3．缩略图窗口

缩略图窗口是一个独立的窗口，被固定在资源管理器窗口上，或者可以布置在屏幕的任一位置。

移动显示的区域。窗口内的黑框显示了当前图纸的哪一部分显示在屏幕上。单击黑框并拖动它，让它覆盖要在屏幕上显示的图纸部分。当鼠标指针指向黑框时，可以移动这个框。在缩略图窗口中缩放。可以使用缩略图窗口来缩小或放大。把鼠标指针布置到黑框的边界上，它会变成一个双向箭头。

显示在缩略图窗口中的对象。页面上的对象也可以显示在缩略图窗口中。这样在放大页面的一部分后，仍然可以看到整个页面的情况。可以使用已布置的对象来选择一个新窗口。文本不会显示在缩略图的窗口中。要打开或关闭窗口，请选择“查看→缩略图窗口”。单击刷新或显示另一个新的设计方案页面时，缩略图窗口会被更新。布置缩略图窗口。单击缩略图的窗口菜单栏，并按住鼠标左键，把它拖动到一个新的位置，就可以在屏幕上移动缩略图窗口。也可以拖动它的角来放大或缩小它。

4．资源管理器窗口

在屏幕的左边，有一个资源管理器窗口。在这里，可以选择要在屏幕上要显示的部分，改变页面数据和设计方案数据，改变符号和电缆的项目数据，查找符号和关闭设计方案。

5．捕捉

在页面上布置对象时，可以对它精确定位。可以决定对象只布置在固定间隔为 2.50mm 的点上。如果所能布置符号的点间的距离为 2.50mm，就说捕捉为 2.50mm。单击左边工具栏的捕捉按钮，可以在普通捕捉和精确捕捉之间切换。（需要特别注意的是，2.50mm 是电气图中标准的普通捕捉尺寸。）

6．栅格

布置在整个图纸页面上的点，称为图纸的栅格。选择“设置→页面设置”，可以改变这些点的间隔。选择“设置→指针/屏幕”，可以关闭此功能，或者选择使用方格来代替点。栅格的尺寸（以 mm 为单位）只和屏幕上显示的内容有关，并不是图纸的真实尺寸。这样，把页面缩放比例从 1∶1 改变为 1∶50 时，并不会改变屏幕上的栅格。

7．十字线

在设计方案图纸中，光标的位置以垂直和水平交叉的两条线显示，称为十字线。在“设置→指针/屏幕”中，可以看到十字线被设置为显示在右下角的十字线。画直线时，会显示

出一条线，起点为上次单击的地方，并指向十字线。如果关闭显示在右下角的十字线功能时，将会看到当前单击时会画出的线。这条线不会总是显示结束于十字线（和使用的捕捉有关）。

8．直接进入菜单和标签

在屏幕的左下方，可以看到不同的信息，如捕捉设置和当前层标题等。单击这些区域会直接进入可以改变这些设置的菜单。把鼠标指针停留在一个区域上时，会出现相应的文字解释。

9．常规性的保护错误

如果发生常规性的保护错误，屏幕底部的状态栏就会开始闪烁一个红色的背景，提出一个警告，要求用另一个名称保存设计方案，并重新启动系统。

要保存设计方案，会自动进入另存为对话框。这样可以防止一个包含错误的设计方案，而这次保存会覆盖掉上次保存的信息。但是，如果一定要使这个设计方案替换上次保存的内容，软件会自动创建一个备份文件（扩展名为.pr），这时，设计方案的原始内容仍可以被找到。

8.2　基本绘图功能

8.2.1　基本绘图对象

1．按钮

在这个软件中，绘制的任何图形对象都属于四种类型之一，即符号、文本、线、圆。另外，还有一个区域命令，它可以包含不同的对象类型。

符号[S]　　线[L]　　文本[T]　　圆[C]　　区域[A]



其中“[ ]”中是对应的功能快捷键。

在菜单栏和程序工具栏中，选择不同的绘图对象时，相应的可操作选项也会发生变化。例如：

（1）程序工具栏的改变；

（2）程序菜单栏的改变；

（3）此时只允许对所选类型的对象进行操作。

2．对选取的对象进行操作

可以有两种操作模式，这取决于铅笔按钮的两种状态，即绘制/布置新对象（激活/按下铅笔按钮）、对已布置的对象进行操作状态（不激活铅笔按钮）。

（1）绘制/布置新对象。绘制/布置新对象时，按以下步骤进行：

① 选择要操作的对象类型；

② 激活铅笔按钮；

③ 绘制/布置对象。

若要画一条线，可以先单击“线”按钮，然后单击“铅笔”按钮，再开始画线。

（2）对已布置的对象进行操作。要对已有的对象进行操作，按以下步骤进行：

① 选择要操作的对象类型；

② 关闭“铅笔”按钮；

③ 选中要操作的对象；

④ 进行操作。

若要复制一个符号，首先单击符号按钮，按 Esc 键关闭铅笔按钮，选中要操作的符号，并单击“复制”按钮进行复制操作。复制符号可以提前布置在图中。

3. 选取对象

要对已有的对象进行操作，首先必须选中对象。可以按以下步骤进行：

（1）单击要进行操作的对象类型按钮，如文本或符号按钮，关闭铅笔按钮；

（2）单击要操作的对象，每一个选中对象的周围都会有一个彩色区域标明。

当进行符号操作时，请注意选中的是整个符号还是它的一个连接点。如果选中文本，文本工具栏将会指示出所选取的是哪一种类型的文本。

4. 对选取的对象进行操作

要复制、移动、删除或旋转对象，可以按以下步骤进行：

（1）选择相应的对象类型；

（2）选取要操作的对象；

（3）复制、移动、删除或旋转对象。

如果没有特殊说明，下面的功能都适合于符号、文本、线和区域。

要移动所选取的对象时，可以有以下三种选择：

① 单击“移动”按钮，这时选取的对象已经在十字线中，单击要布置的地方；

② 应用单击和拖动，单击所选的对象，并按住鼠标左键，拖动对象到要布置的地方，松开鼠标左键；

③ 在窗口中右击，出现一个菜单，选择菜单中的移动命令。对象这时位于十字线中，移动到要布置的地方，再单击。

5. 撤销

进行对象操作时，有一个很重要的功能，即撤销。单击一次撤销按钮，将撤销程序进行的最后一次操作。请注意，只可以撤销最近的五个操作。但是，有些功能是不能撤销的，如自动编排线号，或布置页面的图纸模板等。前一种情况，可以在开始分配线号之前保存设计方案；后一种情况，必须手工去掉图纸模板。当鼠标停留在撤销按钮上时，会有提示说明可以撤销的操作内容。

8.2.2 线

在对线进行操作时，必须先激活线按钮。如果要画线，就单击程序工具栏中的铅笔按钮。

1. 线的两种类型

在 PCschematic ELautomation 中，有导线（电气线）和非导线（自由线条）两种类型的线。

如果激活了导线按钮，那么这些线只能被用于电气连接。如果没有激活这个按钮，则这些线就是自由线条，可以用于设计方案中的任何地方。

单击线按钮时，导线按钮会被自动激活。

2. 线的工具栏

线的工具栏如图 8.5 所示。在这里可以选择画直线、斜线、直角线、曲线、矩形和圆弧（圆形线），可以指定是否填充。还可以指定线形、线宽、线的颜色，以及是否为导线等。

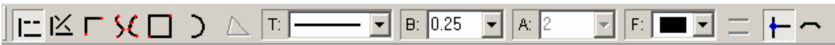


图 8.5　线工具栏

（1）直线。画直线时，会自动地画出直角线或折线。关闭导线按钮，激活直线按钮，在线的起始位置单击。单击可改变线的位置，双击停止画线，按 Esc 键关闭铅笔按钮。从一个连接点拖动及移动线时，会在线上插入一个端点。

（2）斜线。画斜线时，可以自己决定线的角度。单击斜线按钮，画出的线还和设定的捕捉有关系。

（3）直角线。画直角线时，只需指出线的起点和终点。程序会自动创建一条直角连接线。要让线反向弯折，按空格键。

（4）曲线。单击曲线按钮，这个命令可以画出曲线。在曲线转折的地方单击。请注意完成后，曲线上显示的标记（+）。

（5）半圆线。单击半圆线按钮。这个命令可以绘制出连贯的半圆线，以用于一些特殊图形。半圆线是半个圆，逆时针方向画出。和曲线一样，也可以单击和拖动标志改变半圆线。

（6）矩形。单击矩形按钮。单击矩形的一个角，拖动鼠标，直到出现想要的矩形时，再单击。

（7）填充区域。如果绘图前已经激活填充区域按钮，那么可以在画出的矩形、圆和椭圆中填充颜色。如果不能选择填充区域，此按钮为不可选状态。

（8）线的类型。在指定线的类型区域单击，选择要在绘图时所使用线的类型。

（9）线宽。可以决定画线时所使用的线宽。

（10）线距。对有些线的类型，如阴影线，必须指定两条线之间的距离，这叫做线距。

（11）线的颜色。选择线的颜色时，可以选择 14 种不同的颜色。颜色（NP）可以在屏幕上显示，但不会被打印出来。

3. 导线（电气线）

一条导线必须开始和结束于电气节点。电气节点可以是位于另一条导线、符号上的一个连接点，或者一个信号点。新画一条导线时，如果没有指定电气连接，则会出现一个对话框，要求输入信号名，或者可以指定这条线为临时线。有信号名称的信号符号表明一个电气

连接，这意味着有相同名称的电气节点有相同的电位，因此它们是相连的。如果一时决定不了导线连接的对象，可以选择临时线，这时的线没有电气连接。但这只是暂时的，以后必须加以指定连接的对象，在一个完整的设计方案中不应该出现临时线。在任何时候，单击菜单中的功能，再激活查看导线，可以查看设计方案中哪些线是导线，导线为绿色，非导线为红色。要关闭此功能，可以再次选择“功能→查看导线”。不能使用传送数据功能使非导线变为导线。

4．跳转连接

可以在绘图中加入跳转连接。这些跳转连接也可以自动包含在接线端子清单和接线端子布置图中。在自动布置线号时，跳转线连接不会被指定线号。

要画跳转连接，可按以下步骤进行：

（1）单击线按钮，再单击铅笔按钮；

（2）单击跳转连接按钮，画出跳转连接。

注意

只能从一个连接端子到另一个接线端子画出跳转连接。跳转连接不能开始于另一条线的中部，或另一个跳转连接的中部。

8.2.3 圆弧/圆

要画圆时，可以单击圆弧/圆按钮，激活铅笔按钮（圆弧/圆的快捷键是 C），如图 8.6 所示。



图 8.6 圆工具栏

其中 R 是圆/圆弧的半径，V1 是圆弧的起始角度，V2 是圆弧的终止角度（按逆时针方向）。要画出一个完整的圆，V1 应设为 0，V2 应设为 360。要画出半圆，V1 可以设为 45，V2 设为 225。使用圆/圆弧命令也可以画出椭圆。圆/圆弧工具栏中最后的 E 区域是椭圆因数。如果因数被设为 1，画出的是一个普通的圆；如果不是 1，则为各种形状的椭圆。

8.2.4 文本

要输入文本（文字），必须先单击“文本”按钮（或快捷键 T），再单击“铅笔”按钮，如图 8.7 所示。



图 8.7 文本工具栏

1．文本类型

在电气图中所用的文本可分为：自由文本，可以被用于设计方案中任何地方的文本；符号文本，每一个符号自身的文本，包含了符号所代表的元件信息；连接点文本，每一个符号

连接点自身的文本；数据区域，自动填充的文本区域。

如果没有特别说明，指的是自由文本。自由文本可以被用到图纸、符号和图纸模板中的任何地方。自由文本不能像其他类型的文本那样被传送到设计方案清单中。如果自由文本是符号定义中的一部分，那么它在图纸中是不可改变的。

（1）输入和布置自由文本。单击文本按钮，再单击铅笔按钮，或者在文本工具栏中的文本区域内单击，就可以输入文本了。现在文本位于十字线中。单击要布置文本的位置，这时已经在设计方案页面中布置了一个自由文本。

（2）编辑设计方案中的文本。要编辑设计方案中的文本，可以按以下步骤进行：

① 关闭铅笔按钮；

② 单击文本按钮（快捷键 K）；

③ 更改文本，并按回车键。

（3）连接到符号的文本。符号中有一些连接到符号的文本。如果符号有连接点，那么连接点中还有一些连接到连接点的文本。

2．设计方案和页面数据

对一个新的设计方案，可以为其填写不同的数据。在打开一个新设计方案时，会出现设置对话框，其中有设计方案数据和页面数据选项。要填写对话框中的区域，需在区域内单击，然后输入信息，按 Tab 键可以在区域间切换；如果要填写或改变数据，选择“数据→设计方案数据/页面数据”，或单击设计方案数据或页面数据的按钮。单击“刷新”按钮可以查看改变后的效果。

3．指定文本数据/文本的显示

首先单击“文本”按钮，然后再单击“文本数据”按钮，进入编辑窗口，如图 8.8 所示。

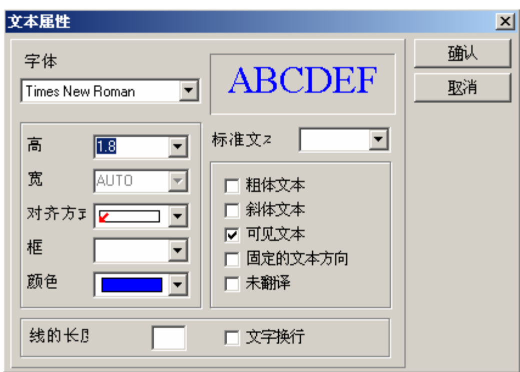


图 8.8　文本属性

要改变文本的设置，可以单击对话框左边的下拉箭头，在出现的下拉对话框中加以选择。

文本数据窗口中包含以下的区域。

（1）字体。这里可以选择要使用的字体。请注意，要正常显示中文，必须把字体设置成 Times New Roman。如果要使用一些自定义的字体，请把相关的字体文件复制到文件夹:\PCSELCAD 中。

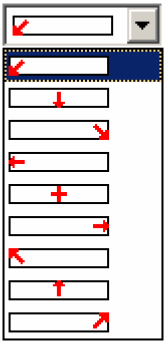


图 8.9 对齐方式

（2）高度。标明了文本的高度，对于一般的图纸而言，字体高度设置在 4～8 之间较为合适。

（3）宽度。标明文本的宽度。这指定了字符之间的宽度和它们显示的宽度。选择 AUTO 时，宽度被设为高度的 2/3。

（4）对齐。一共有 9 种不同的对齐选项。如图 8.9 所示。在一般情况下选择默认的对齐方式即可。

（5）文本框。要在文本上加上文本框，也可以在其中选择相应的选项。

（6）颜色。标明文本和文本框的颜色，其中列出了 14 种不同的颜色。一般打印的图纸都是黑白的，这个选项可以不选。

（7）线的长度。在这里可以指定每一行最多可以包含多少个字符。如果文本太多，则多余的部分会被去掉。

（8）文本换行。输入的文本太长，在显示时可以采用这个命令，使得文本显示的区域在规定的范围内。

（9）检查标记。在对话框的右边，可以选择粗体文本、斜体文本、可见文本和固定文本方向。如果要应用相应的选项，就在前面打上钩。

8.2.5 符号

在 PCschematic ELautomation 中可以用一个符号在图中代表电气元件。元件一般包含多个功能，每一个功能对应一个电气符号。属于同一个元件的各个符号，有相同的符号名，可以分布在设计方案的不同界面。

1. 取出符号

单击符号按钮⋈，可以进入符号模式，再用以下方法之一取出符号：

（1）从符号选取栏中取出符号。在屏幕的上方，可以看到符号选取栏，可以在这里布置一些最常用的符号如图 8.10 所示。单击选取栏中的一个符号，它就会位于十字线中。可以把它布置到设计方案的页面上。程序会自动转到符号工具模式，铅笔按钮被激活。

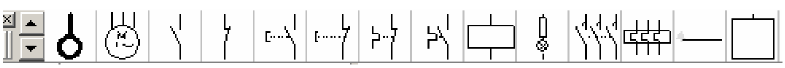


图 8.10 符号选取栏

（2）使用符号菜单取出符号。单击符号按钮，再单击符号菜单按钮或按快捷键 F8。在符号菜单中，选取需要的符号。单击需要的符号后，单击“确认”按钮，返回绘图页面，同时符号位于十字线中。把符号布置到页面，如需取消这个符号的操作，按 Esc 键，去掉十字线中的符号。

（3）从数据库中取出符号。如果开始确定要使用哪些元件，可以直接从数据库取出相应的符号。单击符号按钮，按下 Ctrl 键，同时单击符号菜单按钮，就会直接进入数据库（快捷键为 D）。

（4）直接输入符号文件名。激活符号按钮，按快捷键 K，进入下面的对话框。输入需要的符号文件名，按回车键。程序会在符号菜单中上次使用的文件夹内搜索符合条件的符号。

（5）直接输入项目号。激活符号按钮，选择“功能→数据库→查找项目”，进入查找。在这里尽可能输入完整的项目号，再单击“确认”按钮。进入数据库，全部由匹配项目号的元件都会显示出来。

（6）直接输入符号类型。激活符号按钮，选择选择“功能→数据库→查找类型”，进入查找。在这里尽可能多地输入完整的符号类型文本，单击“确认”按钮。进入数据库，会显示所有匹配的符号。如果使用的是 Access 格式的数据库，则大小写字母没有区别。如果使用的是 dBase 格式的数据库，则大小写字母有区别。

2．布置和命名符号

当符号位于十字线中时，可通过单击将其布置到图中。布置符号时，将自动进入符号项目数据对话框，要求填写相关的信息。在符号项目数据对话框中输入符号名及其他信息。如图 8.11 所示。

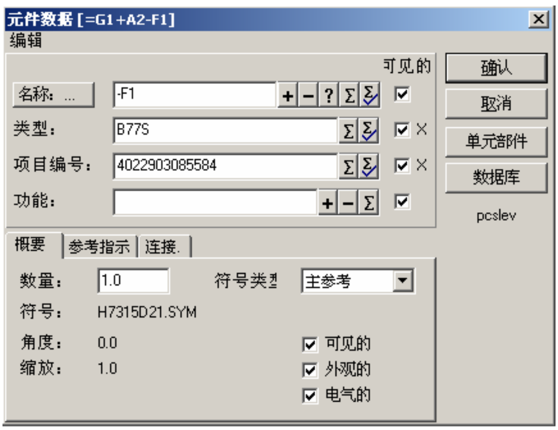


图 8.11　符号布置

（1）指定符号名。在名称区域，可以输入一个名称，或使用下面的一个选项，如表 8.1 所示。

表 8.1　按钮符号及其功能

按 钮 符 号	功　能
+	每次对符号名加 1
-	每次对符号名减 1
?	给出下一个相关符号类型的可用符号名
Σ	给出一个包含所有已使用符号名的列表，可以在其中选择
Σ √	给出当前环境下的所有相关符号的符号名列表

（2）可见文本。在可见的区域设置一个检查标记，可以决定哪些信息会在页面上显示。需注意的是：只有先在设置→文本/符号默认值中激活此功能后，文本才会在页面上显示。

3．移动和删除已布置的符号

（1）移动已布置的符号方法，可按下面的步骤进行：

① 单击符号按钮，选中符号；

② 按下鼠标左键，把符号拖到一个新的位置。

这种方法不仅移动了符号，并且和它相连的连接线也被一起移动。

（2）删除已布置的符号方法，可按下面的步骤进行：

① 单击符号按钮；

② 单击“删除”按钮，会被提问是否要删除所有当前符号名的符号，回答是或否。

（3）移动时不带连接线则可按下面的步骤进行：

① 单击符号按钮；

② 按下 Ctrl 键，拖动符号到一个新的位置。

只是移动了符号，和它相连的连接线不会被一起移走。

4．符号工具栏

选中一个符号后，在符号工具栏中会显示出如下符号信息，如图 8.12 所示。



图 8.12　符号信息栏

其中 T：上一次位于十字线中的符号文件名；N：当前选中符号的名称；S：符号的缩放。

（1）符号的自动命名。当自动命名按钮被激活，布置符号时，符号会被自动指定下一个可用的符号名。

（2）缩放符号。如果要放大或缩小一个或多个符号，可以使用符号缩放。从缩放因数的下拉菜单中选取一个值，按回车键；或者输入一个值，按回车键。

（3）镜像符号。选中一个符号，单击垂直镜像符号按钮，符号会被垂直镜像；单击水平镜像符号按钮，符号会被水平镜像。

（4）旋转符号。单击旋转符号按钮，可以旋转符号。

在一个区域内选择符号类型。当工作在符号模式时，在屏幕上用鼠标标记出一格区域来，可以指定选择区域内的哪些符号。

8.2.6　区域

要选取设计方案中一格区域内所有的符号如线、文本和圆时，可以使用区域命令。要进行这个操作，先单击区域按钮（或快捷键 A）。

1．选取区域内所有类型的对象

单击区域按钮，拖出一个窗口，则窗口内所有的对象都会被选中。如果想取消选中对象，可以按下 Ctrl 键，单击相应的对象。如果要选中区域外的对象，按下 Ctrl 键，单击相应的对象。

2．剪切和粘贴区域

按下面的方法剪切和粘贴一个区域：

（1）单击区域按钮。

（2）用鼠标拖出一个窗口，选中一个区域。

（3）单击剪切按钮，或者在区域内右击，再选择剪切。

（4）此时已删除了区域，这时可以转到其他页面。单击粘贴按钮，则刚才删除的区域会位于十字线中。

（5）在需要插入区域的地方单击，区域就会布置到新的位置，剪切功能也可以用于符号、文本、线和圆。

3．旋转区域

也可以旋转整个区域。区域内的所有对象（符号、文本、线和圆/弧）都会被旋转。先单击区域按钮，再选择要旋转的区域。在区域内右击，选择移动命令，此时按空格键，区域会以鼠标所指的点为中心每次以 90° 进行旋转。

8.3　导线编号及元件布置

8.3.1　自动为导线编号

1．开始自动为导线编号

如果要在图中自动插入线号，选择“功能→导线编号”。进入导线编号对话框，其中有不同的标签项，在这里可以决定如何进行导线编号。自动分配导线编号前，应该明确这个功能不可以撤销。因此，激活自动导线编号前应首先保存这个设计方案。当设置好后，单击所有页面或当前页面，则会按照设置的那样，进行自动导线编号。单击所有页面，导线编号运用于设计方案中的所有页面。单击当前页面，导线编号只会应用于当前页面。

2．功能

在导线编号对话框中的功能标签项，可以决定自动导线编号的规律。一般有两种不同的规律进行导线编号，分别称为电压编号方式和导线编号方式，如图 8.13 所示。

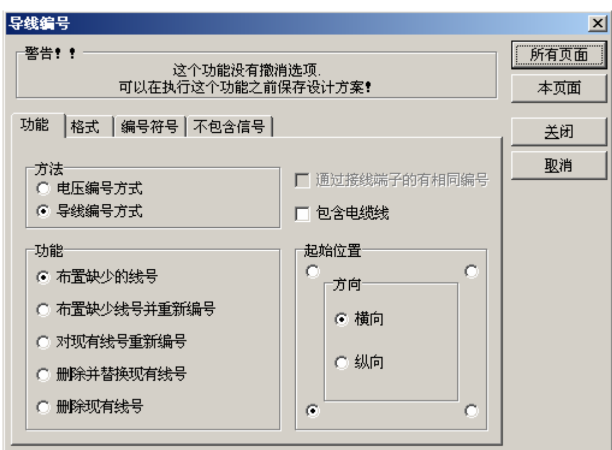


图 8.13　导线编号

其中电压编号方式为：要选择电压编号方式，单击对话框左上方的电压编号方式。在这里，每一个电压都被分配自己的线号。如果相同的电压被信号符号分隔开，则都会编上相同的线号。导线编号方式为：如果要为设计方案中的每一条导线都指定一个线号，就选择对话框左上角的导线编号方式。需注意的是：如果不能在图中指定线号如何布置，那么就不能假定程序会猜出线号如何定位。

（1）命名顺序。要指定在页面的哪一个角开始命名，可以在 4 个选项中选一个，也可以指定计数方向是横向的还是纵向的。

（2）功能。在标签的左下角，可以决定如何分配线号，以及布置线号的位置。

① 布置缺少对象。对没有编号的导线分配编号。不改变已经布置的导线编号。

② 布置缺少对象并重新编号。对没有编号的对象布置新编号，允许已经布置的导线编号保持原来的位置，但是所有的导线编号都重新命名。

③ 重新编排现有的编号。当布置完所有导线编号，不想布置更多号码时，可以使用此功能。因此只需记住已经布置的导线编号，不用检查是否还缺少其他线号。

④ 删除并替换现有编号。所有现有导线编号都被删除，并布置新的导线编号。不再定位于原来的位置。

⑤ 删除现有编号。删除所有设计方案中的导线编号。

在格式命令中，可以确定自己所编排的导线采用的格式，一般来说采用自动导线编号方式，如图 8.14 所示。

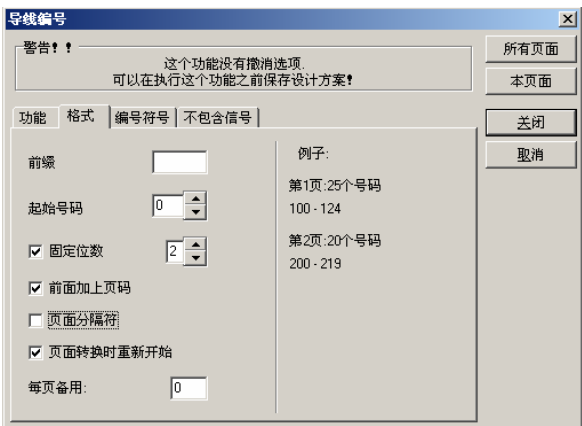


图 8.14　格式

这里可以决定导线编号的编号规律，如表 8.2 所示。

表 8.2　导线编号

格　　式	动　　作
从 0 开始（或 1）	可以决定从 0 还是从 1 开始为导线编号
固定位数	这里可以表明线号将包含的固定数字位数
前面加上页码	把页码布置到线号的前面
页面分隔符	在页码和线号间插入一个用户定义的分隔符
页面转换时重新开始	每个页面的导线编号都从头开始编排
每页备用	为每个页面保持一定数量的线号

为一条线分配线号时，就布置了一个以线号为名称的线号符号。单击标签编号符号，可以指定要使用哪一种符号作为导线编号符号。如果要改变使用的符号，单击“浏览”按钮，进入符号菜单。在其中单击需要的线号符号，单击“确认”按钮。请注意，只能使用类型为线号的符号。如图 8.15 所示。

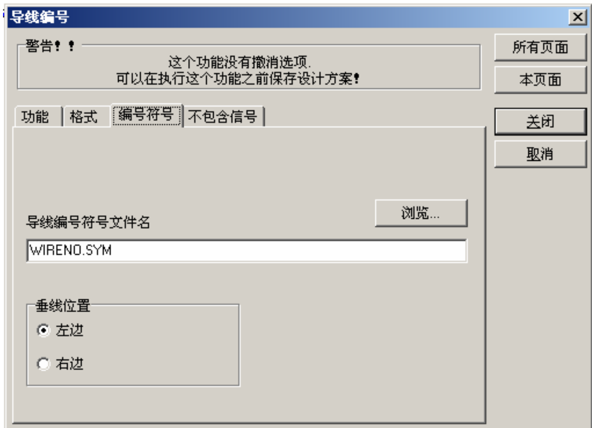


图 8.15　编号符号对话框

一些用户不希望为特定的信号编号，因此可以决定在自动导线编号时不包括哪些信号。选择要传送的信号，单击传送按钮，或单击全部传送按钮，决定不需要编号的信号。也可以选中右面不包括的信号，单击回复按钮，或单击全部回复按钮，决定需要编号的信号。如图 8.16 所示。

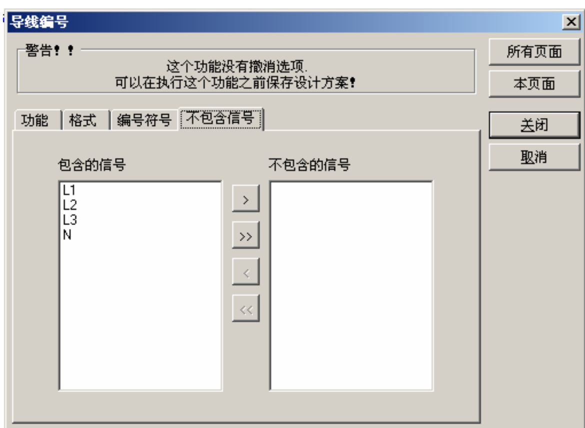


图 8.16　信号选择

8.3.2　手动布置线号

要为设计方案中一些特定的线指定特别的线号，可以使用手动布置线号。最好先手动布置一些线号，然后再运用自动导线编号功能。

1．取出一个线号符号

导线编号时布置了一个线号符号，它布置在线上，具有线号。要取出一个线号，单击符号按钮和符号菜单按钮，进入符号菜单对话框，或按 F8 键直接进入菜单。请选择一个线号符号，单击“确认”按钮。需注意，这个线号符号的类型必须是线号。

2．布置一个线号符号

现在十字线中有了一个线号符号，单击要编号的线。如果这条线已经有了一个线号，会出现提示。如果要布置另一个线号，单击“否”按钮，进入线号数据对话框。如果手动输入线号不可选，程序会自动给出下一个可用的线号。如果手动输入线号可选，则可以为特别的线指定特别的线号。如果选择受保护的，则应用功能→导线编号自动改变线号时，这个线号不能被自动重新命名或自动移动。

8.3.3 元件布置

元件布置图中采用的是外观符号，在前面电气连接图中数据库填写正确基础上，可以将电气外观布置图绘制出来，具体步骤如下：

（1）单击符号按钮，接着选择“功能→布置元件”，如图 8.17 所示；

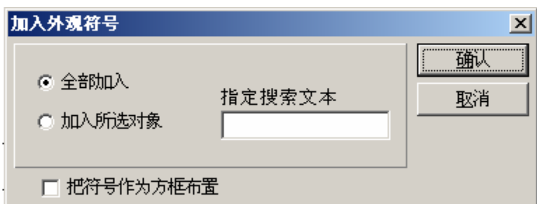


图 8.17 命令对话框

（2）选中“全部加入”项，单击“确认”按钮；

（3）在页面的任意处单击；（建议在图纸的中间部位进行单击操作。）

（4）此时所有的外观符号都重叠在一起，接下来需要做的是将电气符号进行平铺；

（5）在按钮功能菜单下，选择“编辑→间隔”，单击页面左边，第一个符号会被布置在那里；

（6）进入间隔对话框，将三维坐标系内的具体值定义为 0，单击“确认”按钮，如图 8.18 所示；

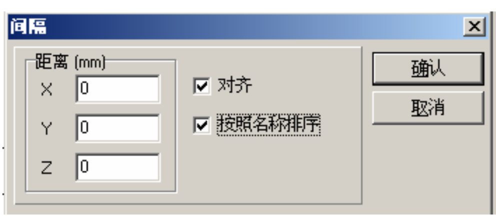


图 8.18 间隔

（7）在刚才单击的位置右侧单击，可看到外观符号，如图 8.19 所示，如需在其他地方布置，可以用拖动的方法进行符合自己要求的布置图。

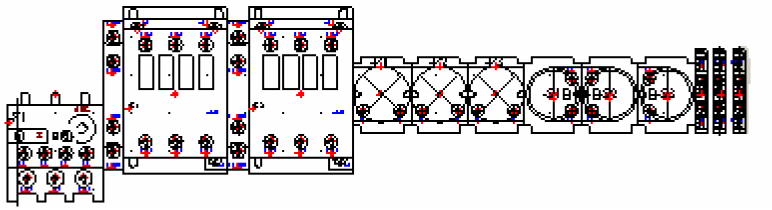


图 8.19　电气布置图

8.4　数据库使用及设置

8.4.1　使用数据库

PCschematic ELautomation 有一个附带的数据库，可以从中收集到设计方案中所用的元件信息。在 PCschematic ELautomation 中，可以通过以下方法来使用数据库：元件供应商提供的数据库，随程序自动安装的演示数据库 eldemo，创建自己的数据库。

1．数据库如何工作

在 PCschematic ELautomation 中的元件供应商数据库内，元件供应商不仅提供了元件的电气和外观符号，还提供了订货数据。当单击数据库中的元件时，会自动获得一个包含本元件所有电气符号的选择菜单。这些符号中的每一个都代表元件的一个功能。因此当在图中布置符号时，程序会记住这些符号代表的元件。当完成电气绘图后，程序也可以自动填写元件清单和零部件清单（不需要手工输入）。

2．为符号添加数据库信息

可以有许多种方法布置有信息的符号和无信息的符号。如果要为已经布置到图中的符号添加数据库信息，可以按如下步骤进行操作：单击符号按钮，同时关闭画笔功能，在符号上右击，选择符号项目数据。然后单击数据库，进入数据库选项，结果如图 8.20 所示。如果已经在符号项目数据对话框中指定了符号的项目号，那么当进入数据库时，程序会自动定位于这个元件。当要查看一个符号所包含的数据库信息，可以在其中一个符号上右击，选择打开命令，进入资料查看。

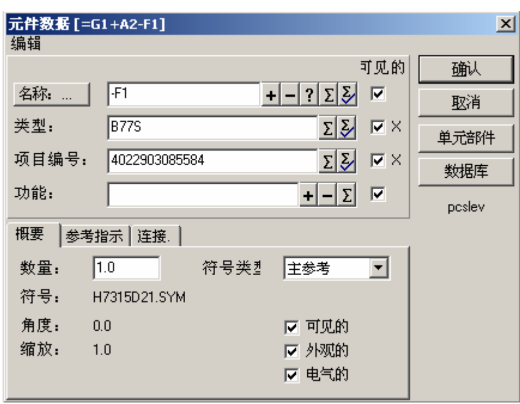


图 8.20　元件数据添加

3．关于数据库菜单

要进入数据库菜单，可以按快捷键 D，如图 8.21 所示。数据库菜单包含了许多文件夹，每一个文件夹包含了一些不同的元件组。这些文件夹的内容根据元件功能分为不同的组。如果要重新安排这个对话框中的信息，见后面的“数据库设置”。

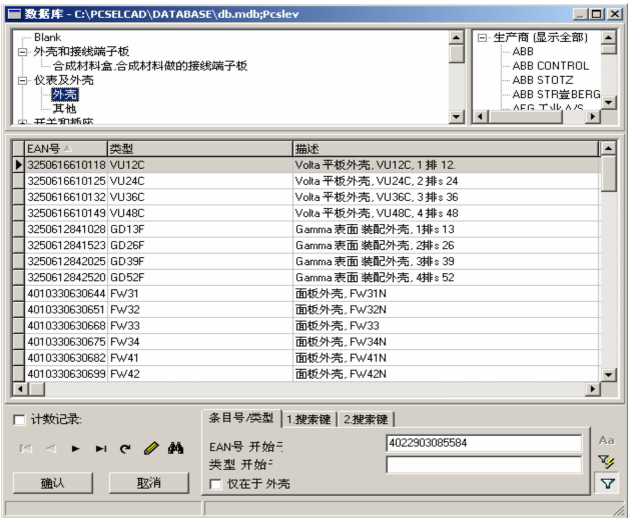


图 8.21　数据库界面

4．在数据库菜单中查找元件

（1）在菜单中选择一个文件夹。如可以单击菜单中的一个文件夹，其中包含了要寻找的元件类型。然后文件夹的内容会显示出来。单击想要的元件，如果文件夹包含了太多的元件，就不太方便操作。

（2）选择生产商。在数据库菜单的右上角，有一个菜单，在这里可以选择元件以何种结构显示。如一生产商的结构分类。单击一个生产商，则所有属于这个生产商并且位于数据库菜单中的选中文件夹下的元件，都会被显示出来。

（3）激活搜索。在对话框的右下角，可以选择几种搜索方法。如果激活了区分大小写询问按钮，那么搜索元件时程序会自动区分大小写。

5．编辑数据库中的记录

当剪辑数据库菜单中的画笔按钮，则进入记录编辑对话框，可以在其中编辑数据库中所列出的记录/元件。如果画笔按钮不可见，则不允许改变数据库中的内容。

8.4.2　数据库设置

设置数据库的结构，以及从元件供应商向数据库中输入元件信息，都可以在一个独立的程序中完成。如果要使用 PCschematic 数据库程序，可以在 PCschematic ELautomation 中选择“工具→数据库”。

1．数据库中的数据区域设置

在 PCschematic ELautomation 中使用数据库时，可以决定要显示数据库中的哪些元件信息。选择“设置→数据库”，再单击数据库设置。进入数据库设置对话框，如图 8.22 所示，在这里可以指定需要的位置，再单击“确认”按钮接受这些改动，或者单击“取消”按钮不保存改动。

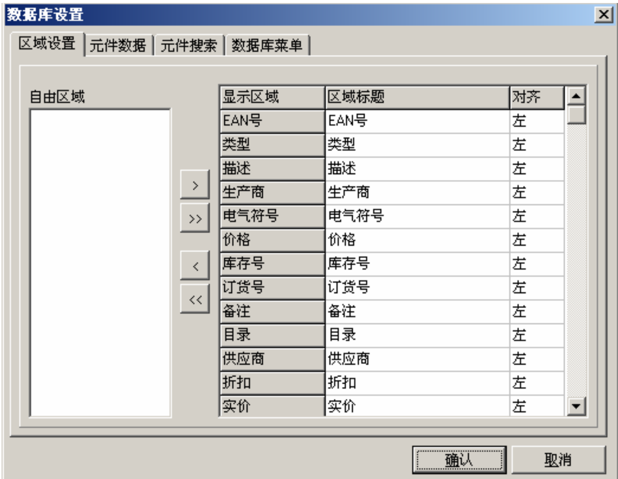


图 8.22　数据库设置对话框

2．向符号和线传送项目数据

单击对话框上方的元件数据标签。从数据库向符号或线传送项目数据时，必须要表明哪些数据库区域将对应项目数据菜单中的项目、类型和功能区域，如图 8.23 所示。

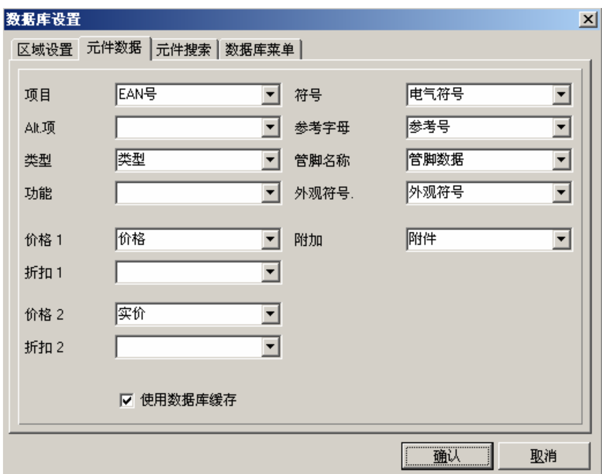


图 8.23　元件数据设置

（1）符号。在符号区域，可以指定数据库中的哪个区域包含电气符号的文件名。

（2）参考字母。在这里可以指定在设计方案中布置符号时要使用哪些参考字母。如果这个区域包含了一个字母，则这个字母就会被使用。

（3）管脚名称。在外观符号区域中，可以指定数据库中的哪个符号包含外观符号的文件名。这个符号会显示文件的外观形状。

（4）附件。有时一个元件还包括了一些附加的部件，使用元件的同时也一定会使用这些附件。但是这些附件只会在设计方案的零部件清单中才会显示出来。

（5）使用数据库缓存。如果使用的数据库位于网络中，并且使用的是 dBase 格式的数据库，那么选择使用数据库缓存，可以使数据库工作得更快。如果不是在网络中工作，这个选项就没有意义。

（6）保存设置。单击“确认”按钮，保存做出改动后的设置。单击“取消”按钮，则不会保存这些设置。

3．数据库区域中的链接

数据库区域可以包含一些链接，如 PDF 文件、因特网地址或者 E-mail 地址。PCschematic ELautomation 会自动检测数据库中的链接。如果检测失败，必须重新指定使用的协议，并输入完整的链接。如：http://www.pcschematic.com/......或 ftp://ftp.pcschematic.com/public/my_file。

8.4.3 选择数据库

PCschematic ELautomation 直接支持 dBase 和 Access 数据库。第一次安装 PCschematic ELautomation 时，程序中会有一个 Access 格式的数据库 demo。

1．选择数据库

要指定在 PCschematic ELautomation 中工作时使用哪个数据库，可以选择“设置→数据库→选择数据库文件”，如图 8.24 所示。



图 8.24 数据库导引

2．打开没有数据库别名的数据库

要使用 PCschematic ELautomation，数据库由 dBase 或 Access 创建，或者通过 URL 文件打开的数据库，单击“数据库文件”进入。单击需要的数据库，再单击“打开”按钮，如图 8.25 所示。一般来说，系统打开的目录为：\database 文件夹，如果有放在其他地方的数据库文件也可以自行查找。

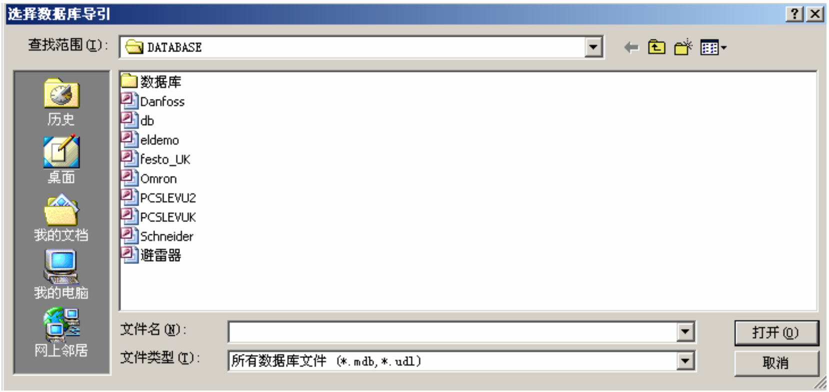


图 8.25　数据库选择

8.5　自动化方案范例

本节将示范如何完成一个自动化方案，其中应该包含的内容，主要通过 4 个步骤来进行讲解，每一步都有对应的图例说明，将示范如何完成设计方案中的各个部分。

8.5.1　建立一个标准的自动化方案图纸

选择“文件→新建”，选择设计方案中的 DEMOSTART 模板进行编辑，如图 8.26 所示。



图 8.26　选择模板

进入自动化方案后，首先看到的是设置窗口。需要对其中的数据进行相应更改，如设计方案名称、说明等，如图 8.27 所示。

单击按钮，打开页面菜单设置，如图 8.28 所示。此时这个模板并不是标准的设计方案，需要对其中的一些页面进行添加和修改。

一般而言，标准的电气图应该有主电路和辅助电路两部分，需要添加一个新的页面作为辅助电路图，此外还应再添加一个页面作为元器件布置图，添加完成后如图 8.29 所示。注意，辅助电路和元器件布置图的页面类型是不一样的。

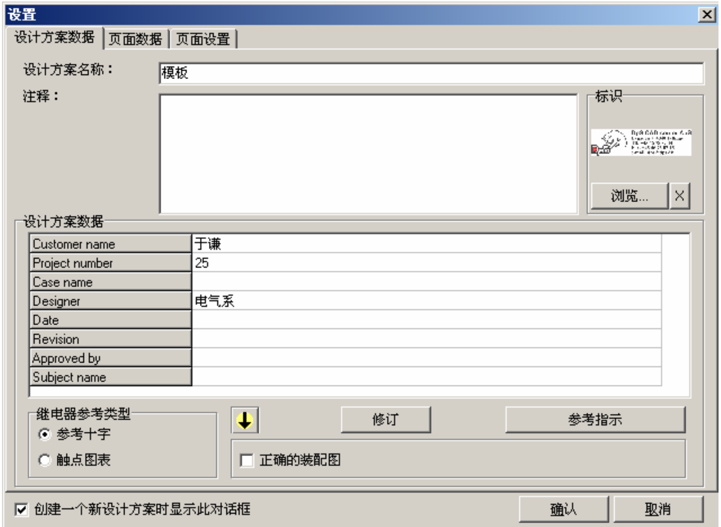


图 8.27　设置对话框

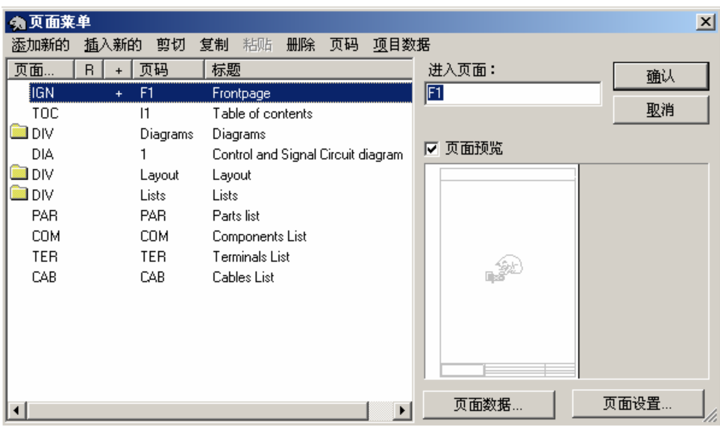


图 8.28　页面设置



图 8.29　页面菜单

8.5.2　绘制主电路和控制电路

1．画L1 相

首先进入页码为 1 的页面，单击页面左上方，电路标号 1 的左边，会出现如图 8.30 所示的对话框。

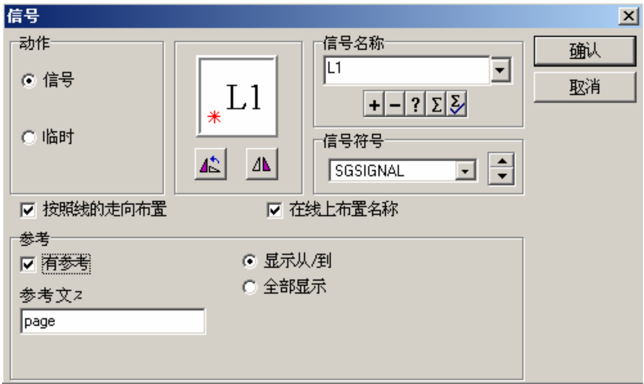


图 8.30　信号线对话框

在下拉框中选择信号名为 L1，单击信号符号 SGSIGNAL。选择有参考，然后选中显示从/到，在参考文本区域内输入“page”，单击“确认”按钮。单击图的右边，按 Esc 键结束画图。采用同样的办法可以把其他相线画出。

2．布置符号

为了在画图的过程中尽量减少错误，建议在画图时直接从数据库中调取相关的资料，具体介绍如下。先打开数据库，界面如图 8.31 所示。

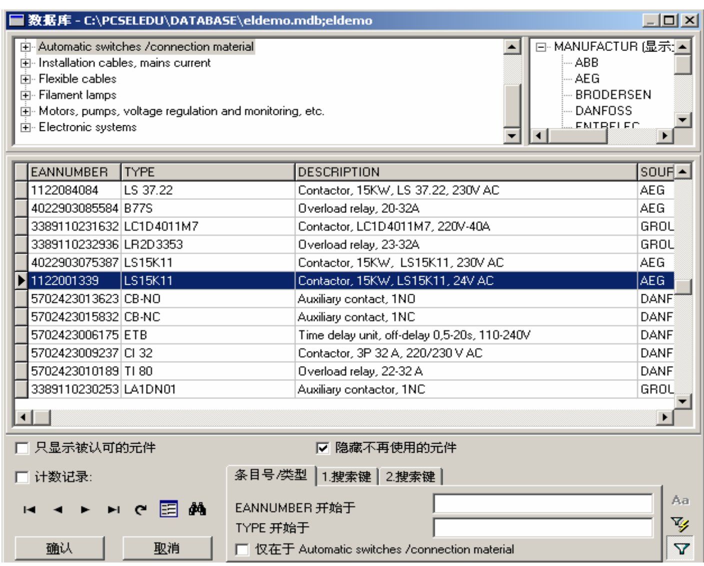


图 8.31　数据库界面

下面以类型为 LS15K11 的交流接触器为例介绍一下符号的布置方法。首先，在选中这个符号后，单击“确认”按钮后会出现如图 8.32 所示界面。

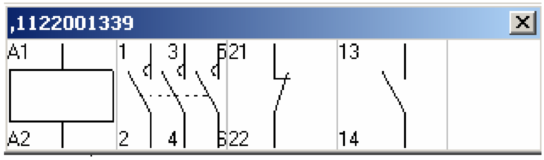


图 8.32　LS15K11 数据符号

从其中选择需要的部件，在符号调用时，只需从数据库中选取一次，就可以有一个很好的效果。可以直接从已经放置好的部件上来显示未用的其他部件，如图 8.33 所示。采取同样的办法可以画出主电路和控制电路。

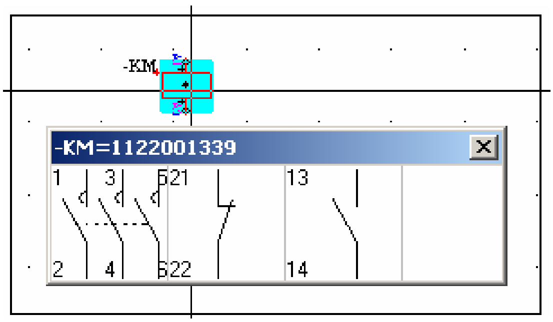


图 8.33　元器件布置

布置接线端子符号。放大热继电器和电动机之间的区域，在符号选取栏中单击接线端子符号（选取栏中的第一个符号），单击“自动命名”按钮，关闭自动命名按钮。把符号布置在最左边的线上，在符号项目数据库中，单击数据库。在数据库菜单中，单击数据库中的类型标签，例如输入 EAN 号为 3389110586435，单击“确认”按钮。在符号项目数据对话框中输入符号名为-X1:1U2，把符号命名为-X1，连接名设为 1U2，单击“确认”按钮。布置其余两个接线端子，分别输入符号名-X1:1V2，-X1:1W2，按 Esc 键离开，如图 8.34 所示。

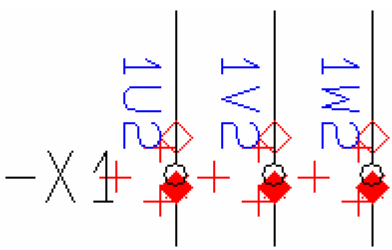


图 8.34　接线端子画法

布置电缆符号。按下 Ctrl 键，单击符号选取栏中的电缆符号，进入数据库菜单，所有的电缆都显示出来，如从中选择 EAN 号为 5702950410537 的电缆，单击“确认”按钮。现在仍有电缆被选中，那表明导线是电缆的一部分。单击左边的线，进入连接数据对话框，输入名字为“Brown”，按回车键结束。把其余两条线命名为“Black”和“Blue”，按 Esc 键退出，如图 8.35 所示。

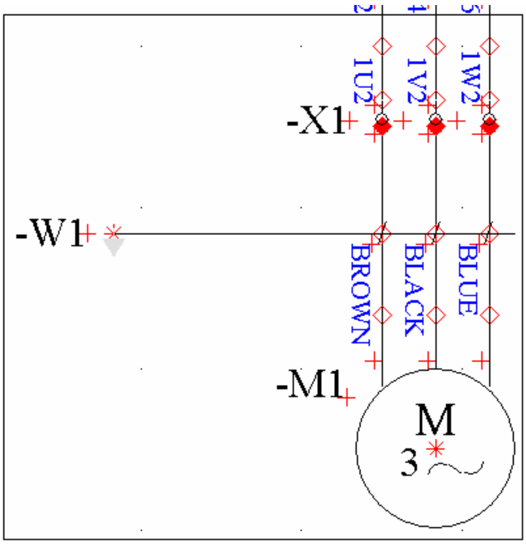


图 8.35　电缆符号

至此，按照所介绍的方法，可以将主电路和控制电路按照自己的要求把它画出来，最后形成界面如图 8.36 所示。

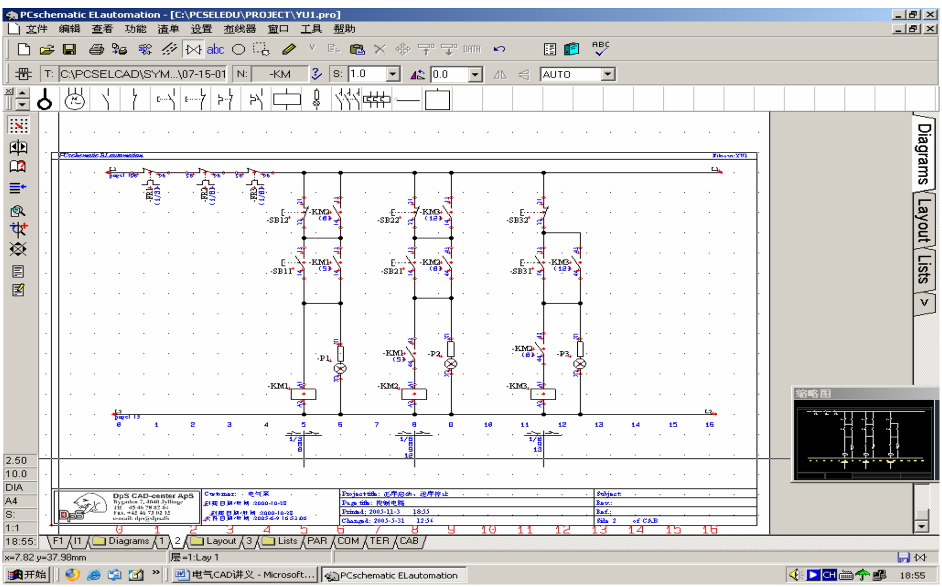


图 8.36　完整的电气图

8.5.3　自动生成布置图

在完成电气图的主电路和控制电路的绘制后，下面需要做的是将元器件布置图自动生成，这也是这个软件的一个优势所在。下面来讲解一下如何操作生成布置图，首先，应该检查一下所绘制的主电路和控制电路，数据库的填写是否正确，有无重复的名称和元件。接下来将当前页面选择为“3”，选择“功能→导线编号”，出现如图 8.37 所示的对话框。

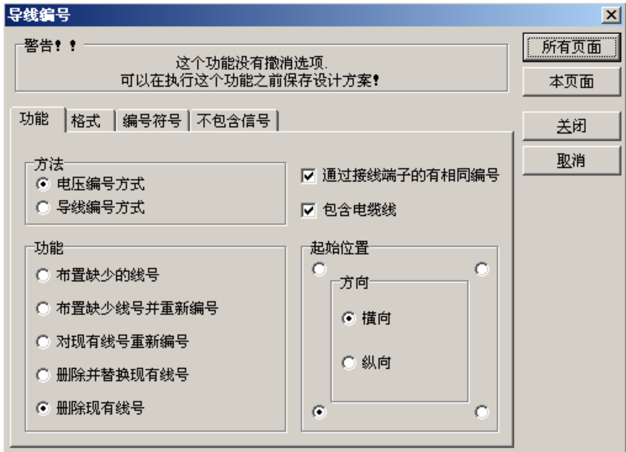


图 8.37 导线编号对话框

按照前面所讲的内容，选择适当的布线方法，单击全部页面后，可以看到设计方案中所有的线都有了一个具体的线号，如图 8.38 所示。

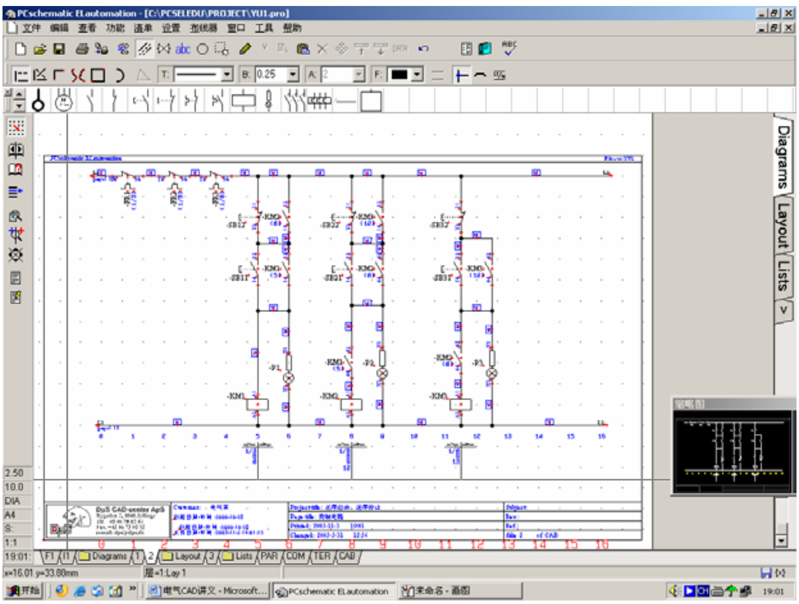


图 8.38 设置完成效果

接下来布置电气图的外观符号。单击符号按钮，选择“功能→布置元件”，出现如图 8.39 所示的对话框。

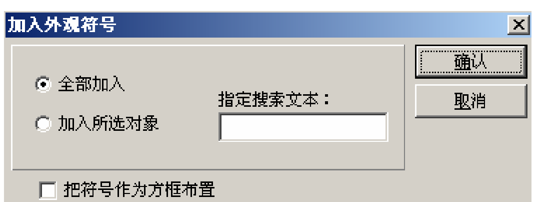


图 8.39 加入外观符号对话框

选择全部加入后，在页面的任意处单击，出现一个警告，如图 8.40 所示：-M1 在数据库中没有相对应的外观符号。这是因为电机是一个外部元件，而外部元件在数据库中是没有外观符号的，并且不会影响电气外观符号的布置，单击“确认”按钮即可。

所有的外观符号都重叠在一起，需要将元器件的外观符号平铺。首先在符号的周围拖出一个窗口，选择编辑→间隔，接下来单击页面左边，第一个符号布置在那里。进入间隔对话框，如图 8.41 所示。

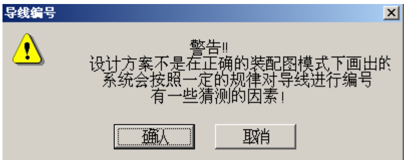


图 8.40 警告栏

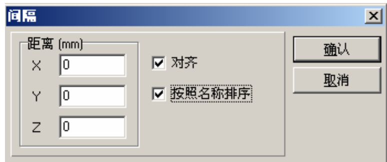


图 8.41 间隔设置

单击“确认”按钮后，在刚才单击的地方右侧再单击。将所有的符号以零间距的形式展开，如图 8.42 所示。此时如果要向配电箱中布置符号，可以用拖和拉的办法，使它们布置在所需要的位置上。

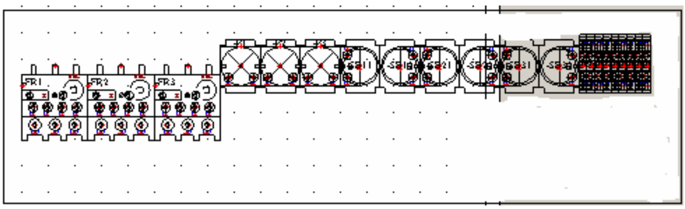
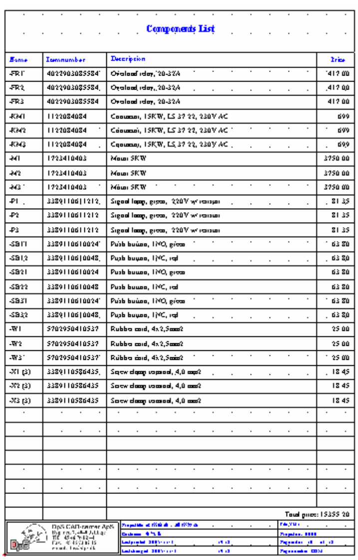


图 8.42 外观符号布置图

8.5.4 各种清单的生成

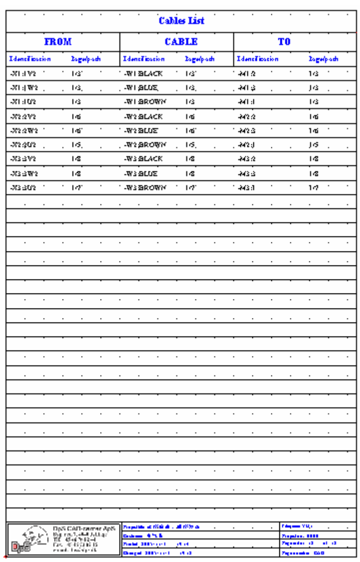
在前面绘制电气原理图的时候，所填写的各种数据此时都会自动调用到各种清单的模板上。单击“清单→更新全部清单”命令，数据被导入各种清单模板上，如图 8.43 所示。



Components List

Name	Itemnumber	Description	Price
-FR1	4022903085584	Overload relay, 20-32A	417 00
-FR2	4022903085584	Overload relay, 20-32A	417 00
-FR3	4022903085584	Overload relay, 20-32A	417 00
-KM1	1122084084	Contactor, 15KW, LS 37 22, 230V AC	699
-KM2	1122084084	Contactor, 15KW, LS 37 22, 230V AC	699
-KM3	1122084084	Contactor, 15KW, LS 37 22, 230V AC	699
-M1	1723410403	Motor 5KW	3750 00
-M2	1723410403	Motor 5KW	3750 00
-M3	1723410403	Motor 5KW	3750 00
-P1	3389110611212	Signal lamp, green, 220V w/ resistor	81 35
-P2	3389110611212	Signal lamp, green, 220V w/ resistor	81 35
-P3	3389110611212	Signal lamp, green, 220V w/ resistor	81 35
-SB11	3389110610024	Push button, 1NO, green	63 80
-SB12	3389110610048	Push button, 1NC, red	63 80
-SB21	3389110610024	Push button, 1NO, green	63 80
-SB22	3389110610048	Push button, 1NC, red	63 80
-SB31	3389110610024	Push button, 1NO, green	63 80
-SB32	3389110610048	Push button, 1NC, red	63 80
-W1	5702950410537	Rubber cord, 4x2,5mm2	25 00
-W2	5702950410537	Rubber cord, 4x2,5mm2	25 00
-W3	5702950410537	Rubber cord, 4x2,5mm2	25 00
-X1 (3)	3389110586435	Screw clamp terminal, 4,0 mm2	18 45
-X2 (3)	3389110586435	Screw clamp terminal, 4,0 mm2	18 45
-X3 (3)	3389110586435	Screw clamp terminal, 4,0 mm2	18 45

Total price: 15355 20



Cables List

FROM		CABLE		TO	
Identification	Page/path	Identification	Page/path	Identification	Page/path
-X1:1V2	1/3	-W1:BLACK	1/3	-M1:2	1/3
-X1:1W2	1/3	-W1:BLUE	1/3	-M1:3	1/3
-X1:1U2	1/3	-W1:BROWN	1/3	-M1:1	1/3
-X2:2V2	1/6	-W2:BLACK	1/6	-M2:2	1/6
-X2:2W2	1/6	-W2:BLUE	1/6	-M2:3	1/6
-X2:2U2	1/5	-W2:BROWN	1/5	-M2:1	1/5
-X3:3V2	1/8	-W3:BLACK	1/8	-M3:2	1/8
-X3:3W2	1/8	-W3:BLUE	1/8	-M3:3	1/8
-X3:3U2	1/7	-W3:BROWN	1/7	-M3:1	1/7

图 8.43 清单



思考与练习

1．电气 CAD 软件标准方案建立的步骤是什么？

2．基本绘图功能中共包含几种对象？

3．捕捉的含义是什么？共有几种捕捉状态？

4．文本输入时若产生乱码，应如何进行处理？

5．对数据库进行选择的步骤是什么？

6．绘制原理图过程中产生的残影应如何进行消除？

7．导线编号共有几种？各自的功能是什么？

8．简述元件的电气符号和外观符号之间的区别和联系。

9．创建一个新符号的步骤是什么？

10．清单的作用是什么？

11．若在元器件清单中看到两个同样名称的元器件，应如何进行处理？

12．生成元器件布置图时，若摆放空间不够，应如何进行处理？

13．从符号菜单中选取的符号和从数据库中直接选取的符号有什么样的区别？

14．水平映像和垂直映像有什么区别？

技能训练 8.1 电气CAD软件的应用

【训练要求】

① 掌握相关电气 CAD 软件的基本功能。

② 能熟练运用电气 CAD 软件设计绘制电气原理图、接线图（表）和安装图等。

【训练工具】

计算机及相关软件、打印机等。

【训练步骤】

① 熟悉软件的运行环境；

② 熟悉软件的基本绘图功能；

③ 熟悉元件库的调用和扩展；

④ 绘制一电气原理图（自选）；

⑤ 绘制其接线图（表）；

⑥ 绘制其安装图；

⑦ 根据所绘图纸，进行电气硬件接线、调试。

参考文献

1　北京工业学院等编．电气控制技术．北京：北京工业学院出版社，1985

2　耿淬主编．电工应用识图．北京：高等教育出版社，2004

3　李增林主编．机械制图与电气制图．北京：中国劳动社会保障出版社，1999

4　马云华，王敏主编．电气仪表．北京：中国电力出版社，1999

5　技工学校机械类通用教材编审委员会编．电工工艺学．北京：机械工业出版社，2004

6　宋健雄主编．低压电器设备运行与维修．北京：高等教育出版社，1999

7　陈荣英，孔云英编著．工厂电气故障与排除方法．北京：化学工业出版社，2000

8　曾祥富主编．电工技能与训练．北京：高等教育出版社，2000

9　余剑雄主编．电机与拖动．北京：高等教育出版社，1996

10　张金运主编．电机与拖动．南京：江苏科学技术出版社，2001

11　王炳勋，殷埝生主编．电工实习教程．北京：机械工业出版社，2004

12　方承远主编．工厂电气控制技术．北京：机械工业出版社，2000

13　许缪主编．工厂电气控制设备．北京：机械工业出版社，1999

14　何焕山主编．工厂电气控制设备．北京：高等教育出版社，2002

15　何巨兰主编．电机与电气控制．北京：高等教育出版社，2003

16　（德）塞普主编．电气安装技术．北京：中国建筑工业出版社，2002

17　李惠昇主编．电梯控制技术．北京：机械工业出版社，2005

18　王专强主编．最新电梯原理、使用与维护．北京：机械工业出版社，2006

19　王兆义主编．可编程序控制器教程．北京：机械工业出版社，2004

20　杨长能主编．可编程控制器基础及其应用．重庆：重庆大学出版社，2002

21　陈加林主编．专业电气设计软件 V1.0．上海：上海银川电子有限公司，2005

读者意见反馈表

书名：设备电气控制与维修（第 2 版）　　**主编**：徐建俊　史宜巧　　**策划编辑**：白　楠

谢谢您关注本书！烦请填写该表。您的意见对我们出版优秀教材、服务教学，十分重要。如果您认为本书有助于您的教学工作，请您认真地填写表格并寄回。**我们将定期给您发送我社相关教材的出版资讯或目录，或者寄送相关样书。**

个人资料

姓名＿＿＿＿＿年龄＿＿＿联系电话＿＿＿＿＿＿＿（办）＿＿＿＿＿＿＿（宅）＿＿＿＿＿＿＿（手机）

学校＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿专业＿＿＿＿＿＿＿职称/职务＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

通信地址＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿ 邮编＿＿＿＿＿＿E-mail＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

您校开设课程的情况为：

本校是否开设相关专业的课程　□是，课程名称为＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿　□否

您所讲授的课程是＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿课时＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

所用教材＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿出版单位＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿印刷册数＿＿＿

本书可否作为您校的教材？

□是，会用于＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿课程教学　　□否

影响您选定教材的因素（可复选）：

□内容　□作者　□封面设计　□教材页码　□价格　□出版社

□是否获奖　□上级要求　□广告　□其他＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

您对本书质量满意的方面有（可复选）：

□内容　□封面设计　□价格　□版式设计　□其他＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

您希望本书在哪些方面加以改进？

□内容　□篇幅结构　□封面设计　□增加配套教材　□价格

可详细填写：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

＿＿

您还希望得到哪些专业方向教材的出版信息？

＿＿

谢谢您的配合，请将该反馈表寄至以下地址。如果需要了解更详细的信息或有著作计划，请与我们直接联系。

通信地址：北京市万寿路 173 信箱　中等职业教育分社　　**邮编**：100036

http://www.hxedu.com.cn　　E-mail:ve@phei.com.cn　　电话：010-88254475；88254600

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：（010）88254396；（010）88258888
传　　真：（010）88254397
E-mail：　dbqq@phei.com.cn
通信地址：北京市万寿路173信箱
　　　　　电子工业出版社总编办公室
邮　　编：100036